

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 5 月 1 9 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 4 0 0 6 9
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 1 4 0 0 6 9]

出 願 人 シャープ株式会社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 8 月 2 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 6 8 0 6 2

【書類名】 特許願

【整理番号】 1030079

【提出日】 平成15年 5月19日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/20

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

 【氏名】 中山 純一郎

【特許出願人】

 【識別番号】 000005049

 【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

 【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100064746

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 深見 久郎

【選任した代理人】

 【識別番号】 100085132

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 森田 俊雄

【選任した代理人】

 【識別番号】 100083703

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 仲村 義平

【選任した代理人】

 【識別番号】 100096781

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 堀井 豊

【選任した代理人】

【識別番号】 100098316

【弁理士】

【氏名又は名称】 野田 久登

【選任した代理人】

【識別番号】 100109162

【弁理士】

【氏名又は名称】 酒井 將行

【パリ条約による優先権等の主張】

【国名】 アメリカ合衆国

【出願日】 2002年10月30日

【出願番号】 10/283359

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008693

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0208500

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体素子の製造方法およびその方法により製造された半導体素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体素子の製造方法であって、
基板上に半導体材料層を形成する工程と、
前記半導体材料層の少なくとも 1 の領域にレーザを照射して、前記半導体材料を加熱し、熔融する工程と、

レーザ照射後、半導体材料を均一に冷却する工程
を含み、レーザを照射した前記領域の境界から横方向に凝固させることにより、
前記半導体材料層内に多結晶微細構造を形成することを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項 2】 半導体素子の製造方法であって、
基板上に半導体材料層を形成する工程と、
前記半導体材料層の少なくとも 1 の領域にレーザを照射して、前記半導体材料を加熱し、熔融する工程と、

300℃以上で、前記半導体材料の結晶化温度以下の温度で、前記半導体材料を加熱する工程
を含み、レーザの照射後に、レーザを照射した前記領域の境界から横方向に凝固させることにより、前記半導体材料層内に多結晶微細構造を形成することを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項 3】 半導体素子の製造方法であって、
基板上に半導体材料層を形成する工程と、
前記半導体材料層の少なくとも 1 の領域にレーザを照射して、前記半導体材料を加熱し、熔融する工程と、

前記半導体材料層に近接して、高熱伝導度材料層を形成し、レーザを照射した前記領域において、高熱伝導度材料層が熱を伝導させて、前記領域を均一に冷却する工程

を含み、レーザの照射後に、レーザを照射した前記領域の境界から横方向に凝固

させることにより、前記半導体材料層内に多結晶微細構造を形成することを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項 4】 前記半導体材料層は、シリコン膜である請求項 1～3 のいずれかに記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 5】 前記レーザからのビームを、マスクスリットを通して、前記半導体材料層上に向ける工程をさらに含む請求項 1～3 のいずれかに記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 6】 前記レーザは、パルス間隔を延長させたレーザまたは連続波レーザである請求項 1～3 のいずれかに記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 7】 300℃以上で、前記半導体材料の結晶化温度以下の温度で、前記半導体材料を加熱する工程をさらに含む請求項 1 または 3 に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 8】 前記半導体材料層と基板との間に、高熱伝導度材料層を形成する工程をさらに含む請求項 3 に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 9】 高熱伝導度材料層と半導体材料層との間に低熱伝導度材料層を形成する工程をさらに含む請求項 8 に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 10】 高熱伝導度材料は、窒化アルミニウム、窒化シリコン、窒化アルミニウムと窒化シリコンとの混合物、酸化マグネシウム、酸化セリウム、窒化チタニウムの中の 1 つである請求項 8 に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 11】 高熱伝導度材料は、10 W/mK 以上の熱伝導度を有する請求項 8 に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 12】 前記半導体材料層の表面に対し垂直に磁場をかける工程をさらに含む請求項 1～3 のいずれかに記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 13】 磁場の印加および熔融シリコンの移動により、起電力を生じさせ、起電力により多結晶微細構造における結晶の横方向の成長をより長くし、より広くする工程をさらに含む請求項 12 に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 14】 レーザからのビームを、マスクスリットと磁場を通して、前記半導体材料層上に向ける工程をさらに含む請求項 12 に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 15】 磁場を与えるために、サンプルステージにおいて磁石を用いる工程をさらに含む請求項 12 に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 16】 前記半導体材料層のうちレーザを照射する領域が、半導体素子における隣接する領域、または、少なくとも部分的に重複する領域である請求項 1～3 のいずれかに記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 17】 多結晶微細構造の粒径が、長さおよび幅方向に均一に増大する請求項 1～3 のいずれかに記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 18】 半導体素子であって、基板上に形成された半導体材料層と、前記半導体材料層に近接して形成された高熱伝導度材料層とを有し、

前記半導体材料層は、レーザ照射により溶融した後、レーザを照射した領域の境界から横方向に凝固させることにより形成された多結晶微細構造を有し、

前記高熱伝導度材料層は、レーザ照射後、レーザ照射された領域において熱を伝導させ、均一に冷却させることを特徴とする半導体素子。

【請求項 19】 高熱伝導度材料層は、半導体材料層と基板との間にある請求項 18 に記載の半導体素子。

【請求項 20】 低熱伝導度材料層が、高熱伝導度材料層と半導体材料層との間にさらに含まれる請求項 19 に記載の半導体素子。

【請求項 21】 高熱伝導度材料は、 10 W/m K 以上の熱伝導度を有する請求項 18 に記載の半導体素子。

【請求項 22】 高熱伝導度材料は、窒化アルミニウム、窒化シリコン、窒化アルミニウムと窒化シリコンとの混合物、酸化マグネシウム、酸化セリウム、窒化チタニウムの中の 1 つである請求項 18 に記載の半導体素子。

【請求項 23】 請求項 1～17 に記載の方法により製造されたことを特徴とする半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体素子とその製造方法に関し、とくに、半導体素子を製造するためのレーザ結晶化プロセスに関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体素子を製造する技術の中には、単結晶シリコンを用いるものがある。その他の技術では、ガラス基板上に堆積したシリコン薄膜が用いられる。後者の技術の例には、アクティブマトリックス液晶表示装置（LCD）の画素コントローラとして作用する種類の薄膜トランジスタ（TFT）素子が含まれる。

【0003】

後者の技術では、シリコン薄膜として以前に用いられていた種類のシリコンは、非晶質シリコンであった。しかし、非晶質シリコン膜は、とりわけ移動度の低さを特徴としていた。したがって、最近になり、比較的高い移動度を有する多結晶シリコンが、非晶質シリコンに代わり利用されるようになった。たとえば、TFTベースの画素コントローラについては、多結晶シリコンの利用により、TFTのスイッチング特性が向上し、LCD上に表示される画像のスイッチング速度が全体的に上昇した。

【0004】

多結晶シリコンは、典型的には、非晶質シリコンまたは微細結晶シリコン膜から得られる。多結晶シリコンを得るための製造方法の1つとして、エキシマレーザ結晶化法（ELC）が公知である。エキシマレーザ結晶化法（ELC）では、基板上にある非晶質シリコン膜または微細結晶シリコン膜のサンプルに、エキシマレーザを照射する。エキシマレーザのレーザビーム（長さ200～400mm、幅0.2～1.0mmの狭い長方形のビーム）は、サンプルにわたり一定速度で移動する間に、サンプルを照射する。

【0005】

サンプルの照射は、照射区域の部分的な溶融を引起す傾向がある。すなわち、溶融は、シリコン膜の深さ（たとえば、厚さ）について、単に部分的に延在する溶融ゾーンで起こり、シリコン膜の未溶融ゾーンを下に残す。このため、サンプルの照射区域は完全には溶融せず、その結果、未溶融ゾーンと溶融ゾーンとの間の界面に、結晶化または核形成が起こり、界面には、結晶化のための多くの種が生じる。膜の表面へ向かって鉛直方向に結晶が成長するが、結晶の配向はランダ

ムである。

【0006】

上述のエキシマレーザ結晶化法 (ELC) では、結晶の粒径は小さくなる傾向にあり、たとえば、約 100 nm から 200 nm のオーダーとなる。さらに、不対電子のポテンシャル障壁が粒界に形成され、このポテンシャル障壁は、キャリアに対し強い散乱効果を有する。電子の高移動度を増大させるために実際望ましいのは、粒界もしくは粒界の欠陥が少ないこと、および／または結晶の粒径が大きいことであろう。しかし、残念ながらエキシマレーザ結晶化法 (ELC) により促進される鉛直方向および本質的にランダムな結晶成長は、一般的に粒界の数を少なくし、および／または結晶の粒径を大きくすることの助けにはならない。むしろエキシマレーザ結晶化法 (ELC) により促進されるランダムな結晶化は、素子構造における不均一性を引起す。たとえば、TFTベースの画素コントローラの場合、ランダムな結晶化はスイッチング特性を妨げ、同じ表示装置にスイッチングの速い画素と遅い画素との両方を存在させるおそれがある。

【0007】

エキシマレーザ結晶化法 (ELC) の制約の観点から、横方向連続結晶化法 (SLS) が提唱されている (特許文献 1 参照)。横方向連続結晶化法 (SLS) は、典型的には、パルスレーザを用い、パルスレーザは、サンプルおよびレーザが反復的に操作される間に、マスクスリットから、たとえば、非晶質シリコン半導体膜などのサンプルを照射する。サンプルのうち、隣接または部分的に重なる領域が段階的に照射される。横方向連続結晶化法 (SLS) では、照射によりサンプルの露出した領域をその厚さにわたり本質的に完全に熔融させ、冷却時に照射領域の中心へ向かい、その境界 (照射領域と、照射領域の隣にある 2 つの非照射領域との界面) から結晶が成長する。この段階的な手順を繰返し、その結果、長さの比較的長い針状の多結晶が得られる。

【0008】

結晶のサイズについては、1 回のレーザ照射の結果として、最大約 1 μ m の長さの針状結晶が得られる。しかし、およそ 1 μ m の長さの結晶は、良好な素子性能をもたらす上で、十分大きいものではない。また、横方向連続結晶化法 (SL

S) による照射を繰返すことにより、針状の結晶の長さは増大するが、結晶の幅寸法は著しく増大することはない。したがって、必要とされているものの1つは、長さだけでなく、幅においても、多結晶シリコン結晶の粒径を均一に増大させる多結晶シリコンの製造技術である。

【0 0 0 9】

その他、たとえば、結晶化されているシリコン膜の下に、いくつかの熱伝導度の異なる材料からなる層を設け、エキシマレーザ結晶化 (E L C) 技術により、均一な結晶をもたらす試みがなされている (特許文献 2 参照)。しかし、多材料層の製造には極めて複雑な堆積技術が必要となるため、満足できる技術ではない。また、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザまたは連続波のレーザで非晶質シリコンを照射する試み (特許文献 3 参照) や、半導体材料を加熱してから、別の光源を用いて、非晶質シリコンを再結晶させる試みがある (特許文献 4 参照)。

【0 0 1 0】

その他の試みは、完全または部分的な溶融に関するものであり、結晶成長方向については、本質的に垂直の (膜の表面への) 方向での制御に関するもののみである。たとえば、欠陥を減少させるために、膜に直交する磁場を与えながら、パルスレーザで半導体膜を照射する試みがある (特許文献 5 参照)。また、パルスレーザで半導体膜を照射し、膜に垂直な磁場を与えることで、表面を平滑化する試みがある (特許文献 6 参照)。一方、1 0 0 n s よりも長いパルスレーザで半導体膜を照射し、膜に垂直または平行な磁場または電場を与えることで、配向の均一性を高める試みもなされる (特許文献 7 参照)。

【0 0 1 1】

【特許文献 1】

米国特許第 6, 3 2 2, 6 2 5 号明細書

【0 0 1 2】

【特許文献 2】

特開平 1 0 - 1 6 3 1 1 2 号公報

【0 0 1 3】

【特許文献 3】

特開 2000-244036 号公報

【0014】**【特許文献 4】**

特開平 6-345415 号公報

【0015】**【特許文献 5】**

特開昭 61-187223 号公報

【0016】**【特許文献 6】**

特開昭 63-96908 号公報

【0017】**【特許文献 7】**

特開 2000-182956 号公報

【0018】**【発明が解決しようとする課題】**

本発明の課題は、半導体材料、とくに多結晶シリコンの粒径を増大させる製造技術を提供することにある、長さだけでなく幅においても多結晶シリコンの粒径を均一に増大させる技術を提供することにある。

【0019】**【課題を解決するための手段】**

本発明の半導体素子の製造方法は、基板上に半導体材料層を形成する工程と、半導体材料層の少なくとも 1 の領域にレーザを照射して、半導体材料を加熱し、熔融する工程と、レーザ照射後、半導体材料を均一に冷却する工程を含み、レーザを照射した領域の境界から横方向に凝固させることにより、半導体材料層内に多結晶微細構造を形成することを特徴とし、300℃以上で、半導体材料の結晶化温度以下の温度で、半導体材料を加熱する工程をさらに含む態様が好ましい。

【0020】

本発明の半導体素子の他の製造方法は、基板上に半導体材料層を形成する工程

と、半導体材料層の少なくとも 1 の領域にレーザを照射して、半導体材料を加熱し、溶融する工程と、300℃以上で、半導体材料の結晶化温度以下の温度で、半導体材料を加熱する工程を含み、レーザの照射後に、レーザを照射した領域の境界から横方向に凝固させることにより、半導体材料層内に多結晶微細構造を形成することを特徴とする。

【0021】

また、本発明の半導体素子の他の製造方法は、基板上に半導体材料層を形成する工程と、半導体材料層の少なくとも 1 の領域にレーザを照射して、半導体材料を加熱し、溶融する工程と、半導体材料層に近接して、高熱伝導度材料層を形成し、レーザを照射した領域において、高熱伝導度材料層が熱を伝導させて、均一に冷却する工程を含み、レーザの照射後に、レーザを照射した領域の境界から横方向に凝固させることにより、半導体材料層内に多結晶微細構造を形成することを特徴とし、300℃以上で、半導体材料の結晶化温度以下の温度で、半導体材料を加熱する工程をさらに含む態様が好ましい。

【0022】

本発明の半導体素子は、基板上に形成された半導体材料層と、半導体材料層に近接して形成された高熱伝導度材料層とを有し、半導体材料層は、レーザ照射により溶融した後、レーザを照射した領域の境界から横方向に凝固させることにより形成された多結晶微細構造を有し、高熱伝導度材料層は、レーザ照射後、レーザ照射された領域において熱を伝導させ、均一に冷却させることを特徴とする。また、本発明の半導体素子には、上述の方法により製造された半導体素子を含む。

【0023】

【発明の実施の形態】

(半導体素子の製造方法)

本発明の半導体素子の製造方法は、基板上に半導体材料層を形成し、半導体材料層にレーザを照射して、加熱し、溶融した後、均一に冷却し、レーザを照射した領域の境界から横方向に凝固させることにより、多結晶微細構造を形成させる方法である。半導体材料、たとえば、非晶質シリコンまたは微細結晶シリコン膜

をレーザで照射した後、シリコン膜が均一に冷却されるため、照射領域の境界から横方向の凝固により望ましい多結晶微細構造が半導体材料層に形成される。照射領域の他の部分と比較して、特定の小領域で急速な冷却が起こるのではなく、冷却は均一および／または遅いため、熔融領域の中では成長制限的な微細結晶の発生が減少し、結晶成長は比較的制限されず、その結果、本質的に均一に横方向の成長がより長くなり、結晶成長の幅がより広くなる。本願発明により形成される結晶微細構造は、結晶の長さが $2\ \mu\text{m}$ 以上で、結晶の幅が $0.5\ \mu\text{m}$ 以上の大径のものをいう。

【0024】

本発明の方法は、横方向連続結晶化 (SLS) プロセスを用いて実行することができ、レーザからのビームは、マスクスリットを通じて半導体材料層上に向けられる。すなわち、照射は、半導体素子のうち隣接または少なくとも部分的に重なる領域に対して逐次実行される。レーザは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザ、または連続波レーザが好ましい。レーザパルスの間隔を延長させることにより、レーザ照射領域の温度が均一になり、冷却温度が均一になるためである。

【0025】

本発明の他の態様においては、半導体材料層に近接して、高熱伝導度材料層を形成し、レーザを照射した領域において、高熱伝導度材料層が熱を伝導させ、レーザ照射領域を均一に冷却させる。高熱伝導度材料層は、領域内に熱を行き渡らせ、領域内での冷却を均一にし、照射後、領域の境界から横方向の凝固により、半導体材料層内に多結晶微細構造が形成される。半導体材料層の熱伝導性を高める点で、高熱伝導度材料層は、たとえば、半導体材料層と基板との間に形成する態様が好ましい。

【0026】

高熱伝導度材料は、レーザ照射により受け取った熱を広く行き渡らせ、冷却を均一にするため、 10 W/mK 以上の熱伝導度を有するものが好ましく、 20 W/mK 以上の熱伝導度を有するものがより好ましい。高熱伝導度材料としては、窒化アルミニウム、窒化シリコン、窒化アルミニウムと窒化シリコンとの混合物

、酸化マグネシウム、酸化セリウム、および窒化チタニウムの中の1つが好ましい。

【0027】

高熱伝導度材料層に加えて、高熱伝導度材料層と半導体材料層との間に、低熱伝導度材料層を形成する態様が好ましい。低熱伝導度材料層を設けることにより、高熱伝導度材料層の厚さの重要性を低くすることができ、さらに二酸化シリコンなどの材料で形成される低熱伝導度材料層は、高熱伝導度材料からシリコンに対する汚染または反応を防ぐための緩衝物となる。

【0028】

本発明の他の態様は、たとえば、高熱伝導度材料層を形成する形態、または間隔を延長させたパルスレーザを照射する形態などにおいて、300℃から半導体材料の結晶化温度までの温度に半導体材料を加熱する。300℃以上の温度に加熱することにより、レーザ照射領域の温度が均一となり、冷却温度が均一となる。また、冷却が遅くなる。照射領域の他の部分と比較して、特定の小領域で急速な冷却が起こらず、冷却が均一に起こり、かつ遅くなることにより、熔融領域の中心での微細結晶の発生が減少する。微細結晶は、未熔融区域と熔融区域との界面からの逐次的な横方向成長を制限する傾向にあるために、望ましいものではない。したがって、微細結晶の発生を抑制することにより、制限されない結晶成長となり、その結果、本質的に均一に横方向成長が長くなり、さらに結晶成長の幅がより広くなる。加熱温度の下限は、結晶の長さおよび幅を大きくする点で、450℃以上がより好ましい。

【0029】

本発明の態様においては、加熱方法として基板ステージを加熱する方法のみ記載しているが、加熱方法はこれに限らず、第二のレーザ光を用いるものでもよい。この場合、第一のレーザ光は、第二のレーザ光よりも固体状態にある半導体膜への吸収率が高い範囲の波長を有し、かつ固体状態にあるこの半導体膜を熔融させるエネルギー量を有しており、第二のレーザ光は、第一のレーザ光よりも液体状態にあるこの半導体膜への吸収率が高い範囲の波長を有し、かつ固体状態にあるこの半導体膜をこの第一照射領域において熔融させないエネルギー量を有する

ものであることが望ましい。より具体的には、第一のレーザ光は、紫外域の波長を有することが好ましく、たとえば、波長 308 nm のエキシマレーザパルスがあげられ、第二のレーザ光は、可視域から赤外域の波長を有することが好ましく、たとえば、波長 532 nm の YAG レーザ、波長 1064 nm の YAG レーザ、波長 10.6 μ m の炭酸ガスレーザなどがあげられる。

【0030】

そして、本発明の態様においては、たとえば、第一のレーザ光を垂直方向から入射させ、第二のレーザ光を斜方向から入射させることができる。この場合には、第一のレーザ光は、たとえば、所定のパターンを形成したマスクの像を半導体膜上に第一のレーザ光の照射領域として縮小投影するように照射され、この際、第二のレーザ光の照射領域は、第一のレーザ光の照射領域を包含し、第一のレーザ光の照射領域より広い面積を有する照射領域であることが好ましい。さらに、この場合には、第二のレーザ光は、少なくとも半導体膜が溶融している間に照射することが望ましい。

【0031】

さらに、本発明の態様においては、所定のパターンを形成したマスクの像を半導体膜上に縮小投影するように照射する方法のみ記載しているが、キャッピング法を併用してもよい。キャッピング法とは、上記の薄膜積層工程に加えて、半導体膜上に、第一のレーザ光の波長に対して反射防止（光吸収）効果を有する範囲の膜厚のキャップ層を形成する。この状態で第一のレーザ光および第二のレーザ光を照射することにより、キャップ層の下部の半導体膜が選択的に加熱溶融されることとなる。具体的には、半導体膜層上に、二酸化シリコンを材質とするキャップ層を 100 nm の膜厚で積層する。さらに、このキャップ層は、TFT を形成する位置に選択的に形成されていることが好ましい。

【0032】

本発明の好ましい実施形態として、レーザ照射中に半導体材料の表面に対して垂直に磁場がかけられる。たとえば、レーザビームはマスクスリットそして磁場を通じて半導体材料上に向けられる。磁場は半導体材料が置かれるサンプルステージに取付けられた磁石によって発生させることができ、または、磁石であって

、そのコアが、レーザビームが通過するリングである形態のものによって発生させてもよい。シリコン結晶化のプロセスでは、逐次的な横方向の成長結晶は、未溶融区域と溶融区域との界面から起こり、たとえばシリコン材料は溶融区域内で移動する。磁場と、シリコン材料の動きとの相互作用から、小さな起電力が生じ、磁場と起電力との相互作用によって、横方向の成長結晶の長さおよび幅が大きくなり、横方向の成長結晶の配向が均一になる。

【0033】

(半導体素子)

本発明の半導体素子は、基板上に半導体材料層と、半導体材料層に近接して高熱伝導度材料層とを有し、半導体材料層は、レーザ照射により溶融した後、レーザを照射した領域の境界から横方向に凝固させることにより形成された多結晶微細構造を有し、高熱伝導度材料層は、レーザ照射後、レーザ照射された領域において熱を伝導させ、均一に冷却させることを特徴とする。高熱伝導度材料層は、半導体材料と基板との間に形成する態様が好ましく、低熱伝導度材料層を、高熱伝導度材料層と半導体材料との間に形成する態様がより好ましい。かかる半導体素子は、長さだけでなく、幅においても粒径が均一に大きく、移動度がより大きい。ため、たとえば半導体表示装置における画素のスイッチング特性を改良することができる。

【0034】

【実施例】

以下の記載では、本発明の完全な理解をもたらすために、特定の構造、界面技術など、説明上、特定の詳細を述べるが、これは限定的なものではない。むしろ当業者であれば、本発明がこれらの特定な詳細とは異なる他の実施例で実施可能であることが明らかであろう。たとえば、ここに記載の半導体材料はシリコンに限定されず、ここに記載のいくつかの材料は、これら特定の挙げるものに限定されない。さらに本発明は、例としての層の厚さ、代替的もしくはは任意の工程、またはレーザの種類などの要因に限定されない。場合によっては、本発明の説明を不必要に不明瞭にすることを避けるため、周知の装置、回路および方法の詳細な説明を省略する。

【0035】

実施例 1

本実施例では、図 1 (a) に示すように、透明基板 12 上に、二酸化シリコン層 14 を蒸着により形成した。二酸化シリコン層 14 は、蒸着によるほか、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術により、透明基板 12 上に堆積することができる。二酸化シリコン層 14 の厚さは 150 nm であった。次に、二酸化シリコン層 14 の上に、シリコン層 16 を形成した。シリコン層 16 は、プラズマエンハンスド化学気相堆積 (PECVD) により形成することができるが、その他、蒸着、スパッタリングなどの技術により堆積することもできる。シリコン層 16 は、最初に堆積した際には非晶質シリコン微細構造を有し、シリコン層 16 の厚さは、50 nm であった。このようにして、図 1 (a) に示すように、半導体素子 10 を製造した。

【0036】

透明基板 12 上に二酸化シリコン層 14 およびシリコン層 16 を堆積した後に実行される工程の例を、図 2 に示す。図 2 におけるシステム 230 では、半導体素子 210 はサンプルステージ 232 上に置かれ、加熱装置 234 により、シリコン層を含む半導体素子 210 が加熱される。シリコン層を含む半導体素子 210 は、300℃からシリコン層の結晶化温度までの任意の温度に加熱され得るが、本実施例では加熱温度は 300℃とした。

【0037】

システム 230 においては、パルスレーザ 238 から発せられたビームは、パルス波延長器 240 でパルス間隔が延長された後、減衰器 244、フィールドレンズ 250、対物レンズ 254、および、それらの間にある鏡 239, 242, 246, 248, 256、マスク 252 を経て、半導体素子 210 にまで達する。サンプルステージ 232 と、パルスレーザ 238 とは、コントローラ 260 に接続されている。半導体素子のシリコン層の表面 (たとえば最上面) は、パルスレーザ 238 から発せられたビーム 236 により照射される。図 1 (a) に示すように、パルスレーザのビーム 11 は、軸 F と平行に向けられる。このシステムでは、パルスレーザは 308 nm の波長 (XeCl) と、パルス波延長器により

間隔を延長させたパルスとを特徴とするエキシマレーザを用いた。これに代えて、たとえば連続波の固体レーザなど他の種類のレーザを用いてもよい。

【0038】

パルスレーザ238の照射ビーム236のエネルギーは、熱エネルギーに変わり、ビーム236の照射範囲にあった非晶質シリコン層は、1回目の溶融を引起した。溶融は、本質的に照射領域の非晶質シリコン層の厚さ全体にわたって起こった。溶融シリコンが冷却すると、シリコンは結晶化する。具体的に、境界から横方向の凝固によってシリコン層の照射領域に多結晶微細構造が形成された。

【0039】

図6(a)は、本実施例のシリコン層での結晶化した微細構造CM(A)の外観を示す。事実上、図6(a)の結晶化した微細構造CM(A)の2つの区域が、領域R(A)のそれぞれの対向する2境界B(A)から延在する。本実施例における結晶の長さを、図6(a)の矢印L(A)で例示する。また、結晶の幅を、図6(a)の矢印W(A)で例示する。

【0040】

一方、図6(b)および図6(c)は、それぞれ1回のレーザ照射後の先行技術のプロセスの結果である結晶化した微細構造CM(B)およびCM(C)を示す。図6(b)の結晶化した微細構造CM(B)を結果とするプロセスでは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザが利用された。図6(c)の結晶化した微細構造CM(C)を結果とするプロセスでは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザでなく、短パルス波レーザが用いられた。図6(b)の結晶化した微細構造CM(B)を結果とするプロセスでも、または図6(c)の結晶化した微細構造CM(C)を結果とするプロセスでも、半導体素子は、300℃からシリコン層の結晶化温度までの温度には加熱されなかった。

【0041】

本実施例による結晶の長さは、図6(a)の矢印L(A)で例示され、3.0 μm のオーダーであった。また、結晶の幅(図6(a)の矢印W(A)で例示する方向で測定される)は、1.0 μm に達した。たとえば、図6(b)および図6(c)の結晶の長さはより短く、それぞれ2.0 μm および1.0 μm であり、

図6 (b) および図6 (c) の結晶の幅はより狭く、約 $0.5 \mu\text{m}$ のオーダーであったことから、本実施例の有効性は明らかであった。

【0042】

本実施例で、図1 (a) に示す二酸化シリコン層24の熱伝導度は、シリコンと類似であり、たとえば約 1 (W/mK) であった。したがって、シリコン結晶化プロセスで二酸化シリコンは、照射から受取った熱を広く行き渡らせることができず、同様にシリコンの冷却速度を均一にすることもできない。しかし、本実施例が示すように、レーザパルスの間隔を延長させることによって、半導体素子の照射領域の温度が均一となり、冷却温度が均一となった。半導体材料を 300°C 以上の温度へ加熱することによってもまた冷却が遅くなる。照射領域の他の部分と比較して、特定の小領域で急速な冷却が起こらず、冷却が均一に起こり、かつ遅くされることにより、熔融領域の中心での微細結晶の発生が減少する。微細結晶は、未熔融区域と熔融区域との界面からの逐次的な横方向成長を制限する傾向にあるために、望ましいものではない。しかし、本実施例では、比較的制限されない結晶成長を呈し、その結果として、本質的に均一に横方向成長が長くなり、さらに結晶成長の幅がより広くなった。

【0043】

横方向の成長結晶の長さおよび幅は、温度が高くなるとさらに大きくなり得る。たとえば、半導体素子が 450°C へ加熱されると、横方向成長結晶の長さは $4.5 \mu\text{m}$ に達し、横方向成長結晶の幅は $1.5 \mu\text{m}$ に達した。 600°C では、横方向成長結晶の長さは $7.0 \mu\text{m}$ に達し、横方向成長結晶の幅は $2.5 \mu\text{m}$ に達した。

【0044】

実施例2

本実施例では、図1 (a) に示すように、半導体素子10は、透明基板12上に高熱伝導度材料層14を有する。ここでは、高熱伝導度材料としては、 10 W/mK 以上の熱伝導度を有する窒化アルミニウムを使用した。窒化アルミニウムの高熱伝導度材料層14は、蒸着により形成したが、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術によっても透明基板12上に堆積させること

ができる。窒化アルミニウムの高熱伝導度材料層 14 の厚さは 25 nm であった。また、図 1 (a) に示すように、プラズマエンハンスド化学気相堆積 (PECVD) により高熱伝導度材料層 14 上にシリコン層 16 を形成した。プラズマエンハンスド化学気相堆積 (PECVD) の代りに、蒸着、スパッタリングなどの技術により形成することもできる。シリコン層 16 は、最初に堆積された際には、非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは 50 nm であった。

【0045】

本実施例において、透明基板 12 上に窒化アルミニウムからなる高熱伝導度材料層 14 およびシリコン層 16 を堆積した後に実行される工程は、図 3 に例示するようなシステム 330b である。システム 330b では、半導体素子 310 は室温でサンプルステージ 332 上に置かれる。システム 330b においては、パルスレーザ 338 から発せられたビームは、パルス波延長器 340 でパルス間隔が延長された後、減衰器 344、フィールドレンズ 350、対物レンズ 354、および、それらの間にある鏡 339, 342, 346, 348, 356、マスク 352 を経て、半導体素子 310b にまで達する。サンプルステージ 332 とパルスレーザ 338 は、コントローラ 360 に接続されている。

【0046】

半導体素子 310b のシリコン層 (たとえば最上面) には、パルスレーザ 338 から発せられたビーム 336 を照射した。図 1 (a) に示すように、パルスレーザのビーム 11 は、軸 F と平行に向けられた。図 3 に例示するシステム 330b では、パルス波延長器 340 を利用したエキシマレーザを使用した。これに代わり、連続波の固体レーザなど他の種類のレーザを用いてもよい。ビーム 336 は、ビーム 336 の照射範囲にある非晶質シリコン層に対して、1 回目の溶融を引起した。溶融は本質的に、照射領域のシリコン層の厚さ全体にわたって起こった。溶融シリコンが冷却すると、シリコンは結晶化する。具体的には、境界から横方向の凝固によりシリコン層の照射領域に多結晶微細構造が形成された。

図 6 (a) は、1 回目のレーザ照射後 (たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに)、領域 R (A) に存在する結晶化した微細構造 CM (A) を示す図である。対照的に、図 6 (b) および図 6 (c) は、それぞれ 1 回のレ

ーザ照射後の他のプロセスの結果を示し、結晶化した微細構造CM (B) および CM (C) を示す。図6 (c) は、先行技術のプロセスの結果を示す。図6 (b)) に示す結晶化した微細構造CM (B) は、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザでなく、短パルス波レーザを利用したプロセスにより得られ、半導体素子には、高熱伝導度材料層が形成されていた。一方、図6 (c) の結晶化した微細構造CM (C) を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザが用いられ、高熱伝導度材料層は形成されていなかった。

【0047】

形成された結晶の長さは、図6 (a) の矢印L (A) で例示され、 $3.5\mu\text{m}$ のオーダーであった。また、結晶の幅 (図6 (a) の矢印W (A) で例示する方向で測定される。) は $1.2\mu\text{m}$ に達した。一方、図6 (b) および図6 (c) の結晶長さはより短く、それぞれ $2.5\mu\text{m}$ および $1.0\mu\text{m}$ となり、図6 (b) および図6 (c) の結晶の幅はより狭く、約 $0.8\mu\text{m}$ のオーダーであり、本実施例の有効性は明らかであった。

【0048】

窒化アルミニウムからなる高熱伝導度材料層14の熱伝導度は、約 35W/mK であり、これはシリコンの熱伝導度 (約 1W/mK) よりも著しく高い。したがって、シリコン結晶化プロセスでは、窒化アルミニウムの高熱伝導度材料層14は、照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一にした。レーザパルスの間隔を延長させることもまた、照射から受取った熱を広く行き渡らせシリコンの冷却速度を均一にするのに役立った。照射領域の他の部分と比較して特定の小領域で急速な冷却が起こるのではなく、冷却が均一に起こることによって、溶融領域の中心での微細結晶の発生が減少する。既に述べたように微細結晶は、未溶融区域と溶融区域との界面からの逐次的な横方向の成長を制限する傾向にあるために望ましくない。本実施例では、比較的制限されない結晶成長を呈し、この結果として、本質的に均一に横方向の成長がより長くなり、さらに好ましくは結晶成長の幅がより広がった。

【0049】

高熱伝導度材料層の厚さは、その熱伝導度に従って決定される。熱伝導度材料

の熱伝導度が高ければ層の厚さは薄くてよいが、高熱伝導度材料の熱伝導度が低ければ層の厚さを厚くする必要がある。一般には、高熱伝導度材料層の厚さは20～30nmが好ましい。熱伝導度があまりに高ければ厚さの好適な範囲は小さく、この理由から、たとえば、熱伝導の敏感さを減少させるために、後述するように低熱伝導度材料が用いられる。

【0050】

実施例3

実施例2と同様、図1(a)に示すように、透明基板12上に、高熱伝導度材料層14を形成した。しかし、本実施例では、高熱伝導度材料層14の組成は、実施例2と異なり、窒化シリコンとした。窒化シリコンからなる高熱伝導度材料層14は、蒸着により形成した。蒸着の代りに、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用いて透明基板22上に堆積させることもできる。高熱伝導度材料層14の厚さは50nmであった。次に、図1(a)に示すように、高熱伝導度材料層14の上に、プラズマエンハンスド化学気相堆積(PECVD)により、シリコン層16を堆積し、半導体素子10を形成した。プラズマエンハンスド化学気相堆積(PECVD)の代りに、蒸着、スパッタリングなどの技術により堆積させることもできる。シリコン層16は、最初に堆積された際には非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは50nmであった。

【0051】

実施例3において、透明基板12上に高熱伝導度材料層14およびシリコン層16を堆積した後に実行される工程は、図3に例示するようなシステム330bにおいて室温で実行された。したがって、実施例2のシステムと本質的に同じであるが、本実施例におけるシリコン結晶化プロセスでは、窒化シリコンからなる高熱伝導度材料層14が、照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一にした。その結果、比較的制限されない結晶成長を呈し、本質的に均一に横方向の成長がより長くなり、さらに結晶成長の幅がより広がった。

【0052】

図6(a)は、本実施例における、1回目のレーザ照射後(たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに)、領域R(A)に存在する結晶化した

微細構造CM (A) を示す図である。対照的に、図6 (b) および図6 (c) は、1回のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造CM (B) およびCM (C) を示し、図6 (c) のプロセスは先行技術のプロセスである。図6 (b) の結晶化した微細構造CM (B) を結果とするプロセスでは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザでなく、短パルス波レーザが用いられ、高熱伝導度材料層が形成された。一方、図6 (c) の結晶化した微細構造CM (C) を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザが用いられたが、高熱伝導度材料層は形成されなかった。

【0053】

成長した結晶の長さは、図6 (a) の矢印L (A) で例示され、本実施例では $3.5\mu\text{m}$ のオーダーであった。また、結晶の幅 (図6 (a) の矢印W (A) で例示する方向で測定される。) は $1.2\mu\text{m}$ に達した。一方、図6 (b) および図6 (c) の結晶の長さはより短く、それぞれ $2.5\mu\text{m}$ および $1.0\mu\text{m}$ であった。また、図6 (b) および図6 (c) の結晶の幅はより狭く、約 $0.8\mu\text{m}$ のオーダーであった。したがって、本実施例の有効性は明らかであった。

【0054】

本実施例の高熱伝導度材料層14は、窒化シリコンからなり、熱伝導度は、実施例2の窒化アルミニウムよりも低い。具体的に、窒化シリコンからなる高熱伝導度材料層の熱伝導度は約 10 (W/mK) である。しかし、シリコン層16に対して、窒化シリコンは、両方の層に共通のシリコン元素であるので、よく整合する点で好ましい。さらに、高熱伝導度材料層およびシリコン層についての窒化シリコンは、CVDまたはスパッタリングにより同じシリコンターゲットを連続的に用いて堆積できるため、製造プロセスが極めて効率的かつ経済的なものになる点でも好ましい。

【0055】

実施例4

実施例2と3と同様に、図1 (a) に示すように、透明基板12上に高熱伝導度材料層14を形成した。しかし、本実施例の高熱伝導度材料層14の組成は、窒化アルミニウムと窒化シリコンとの混合物とした。窒化アルミニウムおよび窒

化シリコンからなる高熱伝導度材料層 14 は、蒸着により形成した。蒸着の代りに、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用いて、透明基板 12 上に堆積することもできる。窒化アルミニウムおよび窒化シリコンの高熱伝導度材料層 14 の厚さは 40 nm であった。次に、高熱伝導度材料層 14 の上に、図 1 (a) に示すように、プラズマエンハンスド化学気相堆積 (PECVD) によりシリコン層 16 を堆積し、半導体素子 10 を形成した。シリコン層 16 は、蒸着、スパッタリングなどの技術により形成することもできる。シリコン層 16 は、最初に堆積された際には、非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは 50 nm であった。

【0056】

透明基板 12 上に、高熱伝導度材料層 14 およびシリコン層 16 を堆積した後、に実行される工程は、図 3 に例示するシステム 330b を使用して、室温で実行された。したがって、実施例 2 と 3 と本質的に同じである。窒化アルミニウムと窒化シリコンとの混合物からなる高熱伝導度材料層 14 の熱伝導度は約 20 (W/mK) である。したがって、シリコン結晶化プロセスでは、窒化アルミニウムと窒化シリコンとからなる高熱伝導度材料層 14 は、照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一にした。その結果、比較的制限されない結晶成長を呈し、本質的に均一に横方向成長が長くなり、さらに結晶成長の幅がより広がった。

【0057】

図 6 (a) は、本実施例において、1 回目のレーザ照射後 (たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに)、領域 R (A) に存在する結晶化した微細構造 CM (A) を示す図である。一方、図 6 (b) および図 6 (c) は、それぞれ 1 回のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造 CM (B) および CM (C) を示し、図 6 (c) のプロセスは先行技術のプロセスである。図 6 (b) の結晶化した微細構造 CM (B) を結果とするプロセスでは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザでなく、短パルス波レーザが利用され、高熱伝導度材料層 24 を形成した。一方、図 6 (c) の結晶化した微細構造 CM (C) を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザが用いられたが、高熱

伝導度材料層は形成しなかった。

【0058】

成長した結晶の長さは、図6 (a) の矢印L (A) で例示され、本実施例では $3.5 \mu\text{m}$ のオーダーであり、結晶の幅 (図6 (a) の矢印W (A) で示す方向で測定される。) は $1.2 \mu\text{m}$ に達した。一方、図6 (b) および図6 (c) の結晶長さはより短く、それぞれ $2.5 \mu\text{m}$ および $1.0 \mu\text{m}$ であった。また、図6 (b) および図6 (c) の結晶幅はより狭く、約 $0.8 \mu\text{m}$ のオーダーであり、本実施例の有効性は明らかであった。高熱伝導度材料層14の熱伝導度は、窒化アルミニウムと窒化シリコンとの組成比に従って変更することができ、これにより好適な厚さおよび設計の層を、特定のレーザシステムに好適となるように容易に実現することができた。

【0059】

実施例5

実施例2～4と同様、図1 (a) に示すように、透明基板12上に高熱伝導度材料層14を形成した。しかし、本実施例では、高熱伝導度材料層14の組成は、酸化マグネシウムとした。酸化マグネシウムからなる高熱伝導度材料層14は、蒸着により形成したが、蒸着の代りに、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用いて透明基板12上に堆積することができる。高熱伝導度材料層14の厚さは 20 nm であった。次に、図1 (a) に示すように、高熱伝導度材料層14の上に、ハンスド化学気相堆積 (PECVD) により、シリコン層16を堆積し、半導体素子10を形成した。ハンスド化学気相堆積 (PECVD) の代りに、蒸着、スパッタリングなどの技術によりシリコン層16を形成することもできる。シリコン層16は、最初に堆積された際には非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは 50 nm であった。

【0060】

高熱伝導度材料層14およびシリコン層16を透明基板12上に堆積した後に実行される工程は、図3に例示するようなシステム330bを使用し、室温で実行した。したがって、実施例2～4と本質的に同じである。酸化マグネシウムからなる高熱伝導度材料層の熱伝導度は約 60 (W/mK) である。したがって、

シリコン結晶化プロセスでは、酸化マグネシウムの高熱伝導度材料層は、照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一にした。その結果、比較的制限されない結晶成長を呈し、本質的に均一に横方向成長が長くなり、さらに結晶成長の幅がより広がった。

【0061】

図6(a)は、本実施例における、1回目のレーザ照射後（たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに）、領域R(A)に存在する結晶化した微細構造CM(A)を示す図である。一方、図6(b)および図6(c)は、それぞれ1回のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造CM(B)およびCM(C)を示し、図6(c)のプロセスは先行技術のプロセスである。図6(b)の結晶化した微細構造CM(B)を結果とするプロセスでは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザでなく、短パルス波レーザが利用され、高熱伝導度材料層14を形成した。また、図6(c)の結晶化した微細構造CM(C)を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザが用いられたが、高熱伝導度材料層は形成しなかった。

【0062】

成長した結晶の長さは、本実施例では、図6(a)の矢印L(A)で例示され、 $3.5\mu\text{m}$ のオーダーであった。また、結晶の幅（図6(a)の矢印W(A)で示す方向で測定される。）は、 $1.2\mu\text{m}$ に達した。一方、図6(b)および図6(c)の結晶の長さはより短く、それぞれ $2.5\mu\text{m}$ および $1.0\mu\text{m}$ であり、図6(b)および図6(c)の結晶の幅はより狭く、約 $0.8\mu\text{m}$ のオーダーであったことから、本実施例の有効性は明らかであった。酸化マグネシウムは、その高熱伝導度に加えて、均一な結晶配向を有する。たとえば、酸化マグネシウムを(111)の配向で配置することで、シリコン層の均一な配向を得ることができ、その均一性により半導体素子10の移動度が大きくなった。

【0063】

実施例6

実施例2～5と同様、図1(a)に示すように、透明基板12上に高熱伝導度材料層14を形成した。しかし、本実施例では、高熱伝導度材料層14の組成は

、酸化セリウムとした。酸化セリウムからなる高熱伝導度材料層 14 は、蒸着により形成したが、蒸着の代りに、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用いて透明基板 12 上に形成することができる。酸化セリウムからなる高熱伝導度材料層 14 の厚さは 50 nm であった。次に、図 1 (a) に示すように、高熱伝導度材料層 14 の上に、プラズマエンハンスド化学気相堆積 (PECVD) により、シリコン層 16 を堆積し、半導体素子 10 を形成した。蒸着、スパッタリングなどの技術によりシリコン層 16 を形成することもできる。シリコン層 16 は、最初に堆積された際には非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは 50 nm であった。

【0064】

透明基板 12 上に酸化セリウムからなる高熱伝導度材料層 14 およびシリコン層 16 を堆積した後に実行される工程は、図 3 に例示するようなシステム 330 b を使用し、室温で実行した。したがって、実施例 2 ~ 5 と本質的に同じであるが、酸化セリウムからなる高熱伝導度材料層の熱伝導度は約 10 (W/mK) であった。したがって、シリコン結晶化プロセスでは、酸化セリウムからなる高熱伝導度材料層は、照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一化した。その結果、比較的制限されない結晶成長を呈し、本質的に均一に横方向の成長が長くなり、さらに結晶成長の幅がより広がった。

【0065】

図 6 (a) は、本実施例における、1 回目のレーザ照射後 (たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに)、領域 R (A) に存在する結晶化した微細構造 CM (A) を示す図である。一方、図 6 (b) および図 6 (c) は、それぞれ 1 回目のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造 CM (B) および CM (C) を示し、図 6 (c) のプロセスは先行技術のプロセスである。図 6 (b) の結晶化した微細構造 CM (B) を結果とするプロセスでは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザでなく、短パルス波レーザが用いられ、高熱伝導度材料層を形成した。一方、図 6 (c) の結晶化した微細構造 CM (C) を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザが用いられたが、高熱伝導度材料層は形成しなかった。

【0066】

成長した結晶の長さは、本実施例では、図6(a)の矢印L(A)で例示され、 $3.5\mu\text{m}$ のオーダーであった。また、結晶の幅(図6(a)の矢印W(A)で例示する方向で測定される。)は $1.2\mu\text{m}$ に達した。一方、図6(b)および図6(c)の結晶の長さはより短く、それぞれ $2.5\mu\text{m}$ および $1.0\mu\text{m}$ であり、図6(b)および図6(c)の結晶の幅はより狭く、約 $0.8\mu\text{m}$ のオーダーであったことから、本実施例の有効性は明らかであった。第5の実施例における酸化マグネシウムと同様、酸化セリウムもまた結晶配向が均一であり、これにより半導体素子の移動度が増大した。さらに、セリウムの格子定数は、シリコンの格子定数(5.43\AA)と類似の 5.41\AA であり、このため、酸化セリウムからなる高熱伝導度材料層とシリコン層とはよく整合した。

【0067】

実施例7

実施例2~6と同様に、図1(a)に示すように、透明基板12上に高熱伝導度材料層14を形成した。しかし、本実施例では、高熱伝導度材料層14の組成は、窒化チタニウムとした。窒化チタニウムからなる高熱伝導度材料層14は、蒸着により形成したが、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用いても、透明基板12上に堆積することができる。高熱伝導度材料層14の厚さは 40nm であった。次に、図1(a)に示すように、プラズマエッチング化学気相堆積(PECVD)により、高熱伝導度材料層14の上に、シリコン層16を堆積し、半導体素子10を形成した。形成方法としては、蒸着、スパッタリングなどの技術を使用することもできる。シリコン層16は、最初に堆積された際には、非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは 50nm であった。

【0068】

窒化チタニウムからなる高熱伝導度材料層14およびシリコン層16を、透明基板12上に堆積した後に実行される工程は、図3に例示するシステム330bを使用し、室温で実行した。したがって、実施例2~6と本質的に同じである。窒化チタニウムからなる高熱伝導度材料層の熱伝導度は、室温で約 15 (W/m)

K)であり、1000℃以上では約50 (W/mK)である。したがって、シリコン結晶化プロセスでは、窒化チタニウムの高熱伝導度材料層14は、照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一にすることができた。この結果、比較的制限されない結晶成長を呈し、本質的に均一に横方向の成長がより長く、さらに結晶成長の幅がより広がった。

【0069】

図6(a)は、本実施例における、1回目のレーザ照射後(たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに)、領域R(A)に存在する結晶化した微細構造CM(A)を示す図である。一方、図6(b)および図6(c)は、それぞれ1回のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造CM(B)およびCM(C)を示し、図6(c)のプロセスは先行技術のプロセスである。図6(b)の結晶化した微細構造CM(B)を結果とするプロセスでは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザでなく、短パルス波レーザが用いられ、高熱伝導度材料層14を形成した。また、図6(c)の結晶化した微細構造CM(C)を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザが用いられたが、高熱伝導度材料層14は形成しなかった。

【0070】

成長した結晶の長さは、本実施例では、図6(a)の矢印L(A)で例示され、 $3.5\mu\text{m}$ のオーダーであった。また、結晶の幅(図6(a)の矢印W(A)で例示する方向で測定される。)は、 $1.2\mu\text{m}$ に達した。一方、図6(b)および図6(c)の結晶の長さはより短く、それぞれ $2.5\mu\text{m}$ および $1.0\mu\text{m}$ であり、図6(b)および図6(c)の結晶幅はより狭く、約 $0.8\mu\text{m}$ のオーダーであったことから、本実施例の有効性は明らかであった。

【0071】

実施例8

図1(b)に示すように、透明基板12b上に高熱伝導度材料層14bと低熱伝導度材料層18を、この順に形成した。高熱伝導度材料層14bと低熱伝導度材料層18はともに、蒸着により形成したが、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用いて、別々に堆積することもできる。次に、図

1 (b) に示すように、シリコン層 16 をプラズマエンハンスド化学気相堆積 (PECVD) により堆積し、半導体素子 10b を形成した。このシリコン層 16 は、蒸着、スパッタリングなどの技術により形成することもできる。シリコン層 16 は、最初に堆積された際には、非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは 50 nm であった。

【0072】

本実施例の特徴は、低熱伝導度材料層 18 を用いたことにある。低熱伝導度材料層 18 の材料は、酸化シリコンとしたが、これに限定されるものではない。低熱伝導層は、約 10 nm の厚さで形成した。高熱伝導度材料層 14 は、代表的に窒化アルミニウムからなる層とした。窒化アルミニウムからなる高熱伝導度材料層 14 の厚さは 25 nm であった。高熱伝導度材料層 14 の組成は窒化アルミニウムに限定されないことはいうまでもない。表 1 に、いくつかの材料についての熱伝導度の値を示す。

【0073】

【表 1】

材料	熱伝導度 (W/mK)
AlN	~ 35
SiNx	~ 10
AlSiN	~ 20
MgO	~ 60
CeO ₂	~ 10
TiN	~ 15 (室温); ~50 (>1000°C)
ガラス	~ 0.8
SiO ₂	~ 1.4
a-Si	~ 1.0

【0074】

実施例 2 ~ 7 と同様に、本実施例では、図 1 (b) に示すように、透明基板 12b 上に、窒化アルミニウムからなる高熱伝導度材料層 14b と、低熱伝導度材料層 18 と、シリコン層 16 を、この順に堆積した後、図 3 に例示するシステム 330b を使用して、室温で次の工程を実行した。したがって、実施例 2 ~ 7 と

本質的には同じであるが、高熱伝導度材料層 14 b は窒化アルミニウムからなり、低熱伝導度材料層 18 が、高熱伝導度材料層 14 b とシリコン層 26 との間に形成されていた点異なる。窒化アルミニウムからなる高熱伝導度材料層の熱伝導度は、約 35 (W/mK) であるため、シリコン結晶化プロセスでは、窒化アルミニウムの高熱伝導度材料層 14 b は、照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一にした。このため、比較的制限されない結晶成長を呈し、本質的に均一に横方向の成長が長くなり、さらに結晶成長の幅がより広くなった。

【0075】

低熱伝導度材料層 18 を形成することにより、高熱伝導度材料層 14 b の厚さの重要性をより低くできた。さらに、二酸化シリコンなどの材料から形成される低熱伝導度材料層 18 は、高熱伝導度材料層 14 b からシリコン層 16 への汚染または反応を防ぐための緩衝物として機能した。低熱伝導度材料層を採用する他の態様においても同様である。

【0076】

図 6 (a) は、本実施例における、1 回目のレーザ照射後（たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに）、領域 R (A) に存在する結晶化した微細構造 CM (A) を示す図である。一方、図 6 (b) および図 6 (c) は、それぞれ 1 回のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造 CM (B) および CM (C) を示し、図 6 (c) のプロセスは先行技術のプロセスである。図 6 (b) の結晶化した微細構造 CM (B) を結果とするプロセスでは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザでなく、短パルス波レーザが用いられ、高熱伝導度材料層 14 b と低熱伝導度材料層 18 を形成した。また、図 6 (c) の結晶化した微細構造 CM (C) を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザが用いられ、高熱伝導度材料層 14 は形成しなかった。

【0077】

成長した結晶の長さは、図 6 (a) の矢印 L (A) で例示され、 $3.5 \mu\text{m}$ のオーダーであった。また、結晶の幅（図 6 (a) の矢印 W (A) で例示する方向で測定される。）は $1.2 \mu\text{m}$ に達した。一方、図 6 (b) および図 6 (c) の結

晶の長さはより短く、それぞれ $2.5\ \mu\text{m}$ および $1.0\ \mu\text{m}$ であり、図 6 (b) および図 6 (c) の結晶の幅はより狭く、約 $0.8\ \mu\text{m}$ のオーダであったため、本実施例の有効性は明らかであった。

【0078】

実施例 9

図 1 (b) に示すように、透明基板 12 b 上に、高熱伝導度材料層 14 b と、低熱伝導度材料層 18 と、シリコン層 16 を堆積して、半導体素子 10 b を形成した。高熱伝導度材料層 14 b と低熱伝導度材料層 18 はともに蒸着により形成したが、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用い形成することができる。また、シリコン層 16 は、プラズマエンハンスド化学気相堆積 (PECVD) により形成したが、蒸着、スパッタリングなどの技術により形成することができる。シリコン層 16 は、最初に堆積された際には非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは $50\ \text{nm}$ であった。また、実施例 8 と同様に、低熱伝導度材料層 18 および高熱伝導度材料層 14 b は、それぞれ酸化シリコン (厚さ約 $10\ \text{nm}$) および窒化アルミニウム (厚さ $25\ \text{nm}$) とした。高熱伝導度材料層 14 b の組成は窒化アルミニウムに限定されず、低熱伝導度材料層 18 の組成もまた酸化シリコンには限定されず、他の好適な材料に任意に変更することができる。

【0079】

実施例 1 と同様、上述のように高熱伝導度材料層 14 b と、低熱伝導度材料層 18 と、シリコン層 16 を堆積した後に実行される工程は、図 2 に例示するシステム 230 を使用して、実行された。システム 230 では、半導体素子 210 はサンプルステージ 232 上に置かれ、加熱装置 234 により、シリコン層を含む半導体素子 210 を加熱した。半導体素子は、 300°C からシリコン層の結晶化温度までの任意の温度に加熱し得るが、本実施例では加熱温度は 300°C とした。レーザービームの照射方法および結晶微細構造の形成についても、実施例 1 と同様である。

【0080】

窒化アルミニウムからなる高熱伝導度材料層の熱伝導度は約 $35\ (\text{W}/\text{mK})$

であったため、シリコン結晶化プロセスでは、窒化アルミニウムの高熱伝導度材料層は照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一にした。レーザパルスの間隔を延長させることもまた、照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一にすることに役立った。照射領域の他の部分と比較して特定の小領域で急速な冷却が起こるのではなく、冷却が均一に起こるため、熔融領域の中心での微細結晶の発生が減少し、比較的制限されない結晶成長を呈し、この結果、本質的に均一に横方向の成長が長くなり、結晶成長の幅がより広がった。

【0081】

図6 (a) は、本実施例における、1回目のレーザ照射後（たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに）、領域R (A) に存在する結晶化した微細構造CM (A) を示す図である。一方、図6 (b) および図6 (c) は、それぞれ1回のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造CM (B) およびCM (C) を示し、図6 (c) のプロセスは先行技術のプロセスである。図6 (b) の結晶化した微細構造CM (B) を結果とするプロセスでは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザでなく、短パルス波レーザが用いられ、高熱伝導度材料層14bと低熱伝導度材料層18をともに形成した。また、図6 (c) の結晶化した微細構造CM (C) を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザが用いられたが、高熱伝導度材料層14bは形成しなかった。

【0082】

成長した結晶の長さは、本実施例においては、図6 (a) の矢印L (A) で例示され、 $3.5\mu\text{m}$ のオーダーであった。また、結晶の幅（図6 (a) の矢印W (A) で例示する方向で測定される。）は $1.2\mu\text{m}$ に達した。一方、図6 (b) および図6 (c) の結晶の長さはより短く、それぞれ $2.5\mu\text{m}$ および $1.0\mu\text{m}$ であった。また、図6 (b) および図6 (c) の結晶の幅はより狭く、約 $0.8\mu\text{m}$ のオーダーであったから、本実施例の有効性は明らかであった。

【0083】

本実施例においては、横方向の成長結晶の長さは、温度がより高ければさらに大きくすることができた。たとえば、半導体素子が 450°C へ加熱されると、横

方向成長結晶の長さは $4.5\ \mu\text{m}$ に達し、横方向成長結晶の幅は $1.5\ \mu\text{m}$ に達した。また、 600°C では、横方向成長結晶の長さは $7.0\ \mu\text{m}$ に達し、横方向成長結晶の幅は $2.5\ \mu\text{m}$ に達した。

【0084】

高熱伝導度材料層と低熱伝導度材料層がともに用いられると、高熱伝導度材料層と低熱伝導度材料層との熱伝導度効果、および加熱／冷却の広がり、の程度は、高熱伝導度材料層に対する低熱伝導度材料層の厚さの比により、変更、調整および制御可能であった。このように熱伝導度を制御できることにより、異なるレーザシステムに対する適合性および異なる種類の半導体素子に対する利用が容易になった。

【0085】

実施例 10

図 1 (a) に示すように、透明基板 12 上に二酸化シリコン層 14 を蒸着により形成した。二酸化シリコン層 14 は、蒸着によるほか、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用いて透明基板 22 上に形成することができる。二酸化シリコン層 14 の厚さは $150\ \text{nm}$ であった。次に、図 1 (a) に示すように、二酸化シリコン層 14 の上に、プラズマエンハンスド化学気相堆積 (PECVD) により、シリコン層 16 を堆積し、半導体素子 10 を形成した。シリコン層 16 は、蒸着、スパッタリングなどの技術によっても形成することができる。シリコン層 16 は、最初に堆積された際には、非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは $50\ \text{nm}$ であった。

【0086】

上述のように、透明基板 12 上に、二酸化シリコン層 14 およびシリコン層 16 を堆積した後に実行される工程は、図 4 に例示するシステム 430c を使用して、実行した。システム 430c において、半導体素子 410 は、サンプルステージ 432 上の永久磁石 470c 上に置かれる。システム 430c においては、パルスレーザ 438c から発せられたビームは、減衰器 444、フィールドレンズ 450、対物レンズ 454、および、それらの間にある鏡 446, 448, 456、マスク 452 を経て、半導体素子 410 にまで達する。サンプルステージ

432と、パルスレーザ438cとは、コントローラ460に接続されている。

【0087】

室温で、シリコン層の表面（たとえば最上面）は、パルスレーザ438c（短パルス波レーザ）から発せられたビーム436により照射され、磁石470Cにより磁場がかけられる。図1（a）に示すように、パルスレーザのビーム11は、軸Fと平行に向けられ、磁力線もまた軸Fと平行である。換言すると、磁場は、シリコン層16の最上面と垂直である。磁場の印加は、図1（a）に示すように、破線の矢印Mにより示される（矢印Mは、図1（a）が例示しているすべての形態で磁場が与えられるわけではないことを反映するよう破線となっている）。磁場はおよそ300kA/mとした。

【0088】

パルスレーザ438Cのビーム436のエネルギーは熱エネルギーに変わり、これによりビーム436の照射範囲にあった非晶質のシリコン層は、1回目の熔融を引起した。熔融は本質的に、照射領域のシリコン層の厚さ全体にわたり起こった。シリコン層は室温では低い導電率を有するが、熔融すると高い導電率を有する。熔融シリコンが冷却するとシリコンは結晶化する。具体的には、境界から横方向の凝固によりシリコン層の照射領域に多結晶微細構造が形成された。シリコンの結晶化プロセスでは、逐次的な横方向成長結晶が未熔融区域と熔融区域との界面から起こり、これは、たとえばシリコン材料が熔融区域内で移動することを意味する。したがって、永久磁石により生じる磁場と、このシリコン材料の動きとの相互作用のため、小さな起電力が生じる。磁場と起電力との相互作用によって、横方向成長結晶の長さおよび幅が大きくなり、横方向成長結晶の配向は均一になる。

【0089】

図7（a）は、本実施例における、1回目のレーザ照射後（たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに）、領域R（A）に存在する結晶化した微細構造CM（A）を示す図である。一方、図7（b）は、1回のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造CM（B）を示す。図7（b）の結晶化した微細構造CM（B）を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザ

が用いられたが、磁場はかけなかった。本実施例における、成長した結晶の長さは、図 7 (a) の矢印 L (A) で例示され、 $2.5 \mu\text{m}$ のオーダーであった。また、結晶の幅 (図 7 (a) の矢印 W (A) で例示する方向で測定される。) は $0.8 \mu\text{m}$ に達した。一方、図 7 (b) の結晶の長さはより短く、約 $1.0 \mu\text{m}$ であり、図 7 (b) の結晶の幅はより狭く、約 $0.5 \mu\text{m}$ のオーダーであったことから、本実施例の有効性は明らかである。

【0090】

図 7 (a) は、本実施例における、1 回目または 1 回限りのプロセス後の結晶化した微細構造を示すのに対し、図 8 (a) は、本実施例における、横方向連続結晶化法 (SLS) を用いた反復的な段階的レーザ照射後の結晶化した微細構造 CM (A) を示す図である。図 7 (a) の構造をもたらし 1 回限りのプロセスでは、結果として得られる TFT などの素子は、結晶粒の中に形成されることになるが、図 8 (a) の SLS 方法では、TFT 素子は SLS 方向に沿っていればどこでも形成することができる。図 8 (a) とは対照的に、図 8 (b) は、図 7 (b) をもたらしのに用いられるプロセスに従い、短パルス波レーザを用いるが、磁場を用いずに、横方向連続結晶化法 (SLS) を用いた反復的な段階的レーザ照射後に存在する結晶化した微細構造 CM (A) を示す。図 8 (a) および図 8 (b) では、白い区域は (111) 配向であり、網点の区域は (101) 配向であり、斜線の区域は、G-H 軸に沿った (100) 配向である。図 8 (a) と図 8 (b) とを対照させることで、本実施例の結晶配向が先行技術よりも均一であることがわかった。

【0091】

実施例 11

本実施例では、実施例 8 に類似し、図 1 (b) に示すように、透明基板 12b 上に高熱伝導度材料層 14b と、低熱伝導度材料層 18 と、シリコン層 16 を堆積し、半導体素子 10b を形成した。高熱伝導度材料層 14b と低熱伝導度材料層 18 とは、ともに、蒸着により形成したが、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用いて形成することができる。シリコン層 16 は、プラズマエンハンスド化学気相堆積 (PECVD) により形成したが、蒸着、

スパッタリングなどの技術により形成することもできる。シリコン層 16 は、最初に堆積された際には非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは 50 nm であった。本実施例では、低熱伝導度材料層 18 の材料は酸化シリコンとし、約 10 nm の厚さで形成した。また、高熱伝導度材料層 14 b は、窒化アルミニウムからなり、厚さは 25 nm とした。低熱伝導度材料層と高熱伝導度材料層の組成および厚さは任意に設計することができる。

【0092】

上述のように、透明基板 12 b 上に、窒化アルミニウムからなる高熱伝導度材料層 14 b と、低熱伝導度材料層 18 とシリコン層 16 を堆積した後に実行される工程は、実施例 10 と同様にして、図 4 に例示するシステム 430 c を使用し、室温で実行した。レーザから照射されたビーム 436 のエネルギーは熱エネルギーに変わり、こうしてビームの照射された範囲にあった非晶質シリコン層に 1 回目の熔融を引起した。熔融は本質的に、照射領域の層の厚さ全体にわたり起こった。シリコン層は、室温では低い導電率を有するが、熔融すると高い導電率を有する。熔融シリコンが冷却するとシリコンは結晶化する。境界から横方向凝固によりシリコン層の照射領域に多結晶微細構造が形成された。シリコン結晶化プロセスでは、未熔融区域と熔融区域との界面から逐次的横方向成長結晶が起こり、これは、たとえばシリコン材料が熔融区域内で移動することを意味する。

【0093】

このシリコン材料の動きと磁場との相互作用により、小さな起電力が生じ、磁場と起電力との相互作用によって、横方向成長結晶の長さおよび幅は大きくなり、横方向成長結晶の配向は均一になる。さらに、シリコン結晶化プロセスでは、窒化アルミニウムからなる高熱伝導度材料層は、照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一にした。照射領域の他の部分と比較して特定の小領域で急速な冷却が起こるのではなく、冷却が均一に起こるため、熔融領域の中心での微細結晶の発生が減少した。

【0094】

図 7 (a) は、本実施例における、1 回目のレーザ照射後（たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに）、領域 R (A) に存在する結晶化した

微細構造CM (A) を示す図である。一方、図7 (b) は、1回のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造CM (B) を示す。図7 (b) の結晶化した微細構造CM (B) を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザが用いられたが、磁場はかけられなかった。本実施例では、成長した結晶の長さは、図7 (a) の矢印L (A) で例示され、 $4.0\ \mu\text{m}$ のオーダーであった。また、結晶の幅 (図7 (a) の矢印W (A) で例示する方向で測定される。) は $1.5\ \mu\text{m}$ に達した。一方、図7 (b) の結晶長さはより短く、約 $2.5\ \mu\text{m}$ であり、図7 (b) の結晶の幅はより狭く、約 $0.8\ \mu\text{m}$ のオーダーであったことから、本実施例の有効性は明らかであった。

【0095】

実施例12

本実施例では、図1 (a) に示すように、透明基板12上に、二酸化シリコン層14を蒸着により形成した。二酸化シリコン層14は、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用いても形成することができる。二酸化シリコン層24の厚さは $150\ \text{nm}$ であった。次に、図1 (a) に示すように、シリコン層16を堆積し、半導体素子10を形成した。シリコン層16は、プラズマエンハンスト化学気相堆積 (PECVD) により形成したが、蒸着、スパッタリングなどの技術により形成することもできる。シリコン層16は、最初に堆積された際には、非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは $50\ \text{nm}$ であった。

【0096】

上述のように、透明基板12上に、二酸化シリコン層14およびシリコン層16を形成した後に実行される工程は、図5に例示するシステム530dを使用し、実行された。システム530dにおいて、半導体素子510はサンプルステージ532上に置かれる。システム530dにおいては、パルスレーザ538から発せられたビームは、パルス波延長器540によりパルス間隔が延長された後、減衰器544、フィールドレンズ550、対物レンズ554、磁場発生器570および、それらの間にある鏡539, 542, 546, 548, 556、マスク552を経て、半導体素子510にまで達する。サンプルステージ532と、パルスレーザ538とは、コントローラ560に接続されている。

【0097】

室温で、シリコン層の表面（たとえば最上面）は、パルスレーザ538から発せられるビーム536で照射され、磁石である磁場発生器570によって磁場がかけられる。レーザ538のビーム536は、図1（a）に示す軸Fと平行に向けられ、磁力線もまた軸Fと平行である。換言すると、磁場はシリコン層16の最上面に対し垂直である。磁場の印加は、図1（a）にある破線の矢印Mで示される。磁場はおよそ200 kA/m（実施例10の場合よりも100 kA/mだけ小さい。）とした。

【0098】

レーザ538の照射ビーム536が半導体素子510に照射されると、ビーム536のエネルギーは熱エネルギーに変わり、非晶質シリコン層の照射領域に1回目の熔融を引起した。熔融は、本質的に、照射領域のシリコン層の厚さ全体にわたり起こった。シリコン層は室温で低い導電率を有するが、熔融すると高い導電率を有する。熔融シリコンが冷却するとシリコンは結晶化する。本実施例では、境界から横方向の凝固によりシリコン層の照射領域に多結晶微細構造が形成された。シリコン結晶化プロセスでは、未熔融区域と熔融区域との界面から逐次的に横方向成長結晶が起こり、これは、たとえばシリコン材料が熔融区域内で移動することを意味する。磁場発生器570により生じた磁場と、このシリコン材料の動きとの相互作用から、小さな起電力が生じ、この起電力と磁場との相互作用によって、横方向成長結晶の長さおよび幅が大きくなり、横方向成長結晶の配向は均一になる。

【0099】

図7（a）は、本実施例における、1回目のレーザ照射後（たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに）、領域R（A）に存在する結晶化した微細構造CM（A）を示す図である。一方、図7（b）は、1回のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造CM（B）を示す。図7（b）の結晶化した微細構造CM（B）を結果とするプロセスでは、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザが用いられたが、磁場はかけられなかった。本実施例における、成長した結晶の長さは、図7（a）の矢印L（A）で例示され、2.

5 μm のオーダであった。また、結晶の幅 (図 7 (a) の矢印 W (A) で例示する方向で測定される。) は、0.8 μm に達した。一方、図 7 (b) の結晶の長さはより短く、約 1.0 μm であり、図 7 (b) の結晶の幅はより狭く、約 0.5 μm のオーダであったことから、本実施例の有効性は明らかであった。

【0100】

図 7 (a) は、本実施例における、1 回目または 1 回限りのプロセス後の結晶化した微細構造を示すのに対し、図 8 (a) は、本実施例における、横方向連続結晶化法 (SLS) を用いた反復的な段階的レーザ照射後の結晶化した微細構造 CM (A) を示す図である。図 7 (a) の構造をもたらす 1 回限りのプロセスでは、結果として得られる TFT などの素子は結晶粒の中に形成されることになるが、図 8 (a) の SLS 方法では、TFT 素子は SLS 方向に沿っていればどこでも形成することができた。一方、図 8 (b) は、図 7 (b) をもたらすのに用いられるプロセスに従い、時間的に遅延させ、パルス波を重ねたレーザを用いるが磁場を用いずに、横方向連続結晶化法 (SLS) を用いた反復的な段階的レーザ照射後に存在する結晶化した微細構造 CM (A) を示す。図 8 (a) および図 8 (b) では、白の区域は (111) 配向であり、網点の区域は (101) 配向であり、斜線の区域は G-H 軸に沿った (100) 配向である。図 8 (a) と図 8 (b) とを対照させることにより、本実施例の結晶配向が先行技術よりも均一であることがわかった。

【0101】

実施例 13

本実施例では、図 1 (b) に示すように、透明基板 12b 上に、高熱伝導度材料層 14b と、低熱伝導度材料層 18 と、シリコン層 16 を堆積し、半導体素子 10b を形成した。高熱伝導度材料層 14b と低熱伝導度材料層 18 はともに、蒸着により形成したが、イオンプレーティング、スパッタリングなど任意の好適な技術を用いても形成することができる。シリコン層 16 は、プラズマエンハンスド化学気相堆積 (PECVD) により形成したが、蒸着、スパッタリングなどの技術によっても形成することができる。シリコン層 16 は、最初に堆積された際には、非晶質シリコン微細構造を有し、厚さは 50 nm であった。本実施例で

は、低熱伝導度材料層 18 の材料は酸化シリコンであり、約 10 nm の厚さで形成した。また、高熱伝導度材料層 14 b の材料は窒化アルミニウムであり、厚さは 25 nm としたが、高熱伝導度材料層 14 b の材料は窒化アルミニウムに限定されず、先に述べた実施例 2 ～ 7 を参照して、他の材料を用いてもよい。

【0102】

上述のように、透明基板 12 b 上に、窒化アルミニウムからなる高熱伝導度材料層 14 b と、低熱伝導度材料層 18 と、シリコン層 16 を形成した後に実行される工程は、図 5 に例示するシステム 530 d を使用して、室温で実行した。室温で、シリコン層の表面（たとえば最上面）は、パルスレーザ 538 から発せられるビーム 536 で照射され、磁場発生器 570 により磁場をかけた。図 1 (b) に示すように、ビーム 11 は、軸 F と平行に向けられ、磁力線もまた軸 F と平行である。換言すると、磁場はシリコン層 16 の最上面に対し垂直である。磁場の印加は図 1 (b) にある破線の矢印 M で示される。磁場はおよそ 200 kA/m （実施例 11 で与えられる磁場よりも 100 kA/m だけ小さい。）とした。

【0103】

レーザから照射されたビームのエネルギーは、熱エネルギーに変わり、ビームの照射範囲にあった非晶質シリコン層は 1 回目の溶融を引起した。溶融は本質的に、照射領域のシリコン層の厚さ全体にわたり起こった。シリコン層は室温では低い導電率を有するが、溶融すると高い導電率を有する。溶融シリコンが冷却するとシリコンは結晶化する。境界から横方向の凝固により、シリコン層の照射領域に多結晶微細構造が形成された。シリコン結晶化のプロセスでは、未溶融区域と溶融区域との界面から逐次的横方向成長結晶が起こり、これは、たとえばシリコン材料が溶融区域内で移動することを意味する。磁場発生器により生じた磁場と、このシリコン材料の動きとの相互作用から、小さな起電力が生じる。次に、起電力と磁場との相互作用によって、横方向成長結晶の長さおよび幅が大きくなり、横方向成長結晶の配向は均一になる。

【0104】

本実施例におけるシリコン結晶化プロセスでは、窒化アルミニウムの高熱伝導度材料層は照射から受取った熱を広く行き渡らせ、シリコンの冷却速度を均一に

する。照射領域の他の部分と比較して特定の小領域で急速な冷却が起こるのではなく、冷却が均一に起こるため、溶融領域の中心での微細結晶の発生が減少した。

【0105】

図7(a)は、本実施例における、1回目のレーザ照射後（たとえば、重なるどの領域も逐次的に露出されないうちに）、領域R(A)に存在する結晶化した微細構造CM(A)を示す図である。一方、図7(b)は、1回のレーザ照射後の他のプロセスの結果である結晶化した微細構造CM(B)を示す。図7(b)の結晶化した微細構造CM(B)を結果とするプロセスでは、短パルス波レーザが用いられたが、磁場は用いられなかった。本実施例では、成長した結晶の長さは、図7(a)の矢印L(A)で例示され、 $4.0\mu\text{m}$ のオーダーであった。また、結晶の幅（図7(a)の矢印W(A)で例示する方向で測定される。）は、 $1.5\mu\text{m}$ に達した。一方、図7(b)の結晶の長さはより短く、約 $2.5\mu\text{m}$ であり、図7(b)の結晶の幅はより狭く、約 $0.8\mu\text{m}$ のオーダーであったことから、本実施例の有効性は明らかであった。

【0106】

上述のさまざまな実施例は、好適なレーザ照射システムによって実現可能であり、そのようなシステムを図2、図3、図4および図5で例示するが、これらに限定されるものではない。図3の照射システム330bは、実施例2～8で利用可能であり、図2の照射システム230は、実施例1と9で利用可能であり、図4の照射システム430cは、実施例10と11で利用可能であり、また図5の照射システム530dは、実施例12と13で利用可能である。これらの照射システムはすべて、さまざまな共通の要素を含み、たとえば、半導体素子が位置付けられるサンプルステージを含む。また、パルスレーザからのビームは半導体素子に焦点を合わされる。

【0107】

しかし、照射システム230(図2)、330b(図3)と530d(図5)は、パルスレーザにより発生されたビームは、パルス波延長器により、時間的に遅延させ、パルス波が重ねられ、減衰器44に導かれる。一方、照射システム4

30c (図4) は、パルス波延長器を用いず、短パルス波レーザ (ここでパルスレーザ438cとして区別する。) を用い、パルスレーザ438cからのビームは直接、減衰器444に導かれる。

【0108】

これらの照射システムではすべて、たとえば、鏡などの他の光学系が、減衰されたビームをフィールドレンズに向ける。ビームは、フィールドレンズを出ると、マスクに入射するが、マスクは1以上のスリットを有する。ビームスリットを通過したビームは、対物レンズに入射し、鏡により方向付けられ、サンプルステージ上に置かれた半導体素子に焦点を合わせて照射される。5:1の縮小を有し、サンプル上に5 μ mの領域を有するのが望ましく、25 μ mのスリットを有するマスクを用いることができる。

【0109】

先に述べたように、パルスレーザは、エキシマレーザ、たとえば308nmの波長を有し、XeClガスをを用いたエキシマレーザを用いることができる。例示的なモデルは、ラムダ・フュジーク・コーポレイション (Lambda Physik Corporation) から販売されているCOMPex (R) 301シリーズのエキシマレーザである。これに代えて、たとえば連続波の固体レーザなど、他の種類のレーザを用いてもよい。

【0110】

パルス波延長器は、典型的には、レーザビームの光経路を長くするための鏡対を有する。例示のシステムでは、パルス波延長器は、パルス幅を、たとえば30nsの元のパルス幅を7倍に延長し、210nsとする (30ns \times 7=210ns)。パルス波延長器は、いくつかの組になった鏡半体および鏡を有する。

【0111】

図2の照射システム230は、加熱装置234を有する。加熱装置234は、サンプルステージ232の上、または近傍にある半導体素子を加熱するのに好適なあらゆる形の加熱器具である。したがって、加熱装置234は、サンプルステージ232の一体的な部分であっても、または補助的な部分であってもよい。また、加熱装置234は、たとえば、熱または加熱ビームを上から照射するために

、サンプルステージ 232 付近に取付けられた光源または電磁波源であってもよい。光源は、ランプ、赤外ヒータまたはレーザでもよい。たとえば、レーザ 238 の主ビームから、鏡によって分割された補助的なビームでもよい。

【0112】

図 4 の照射システム 430 c、および図 5 の照射システム 530 d は、磁場発生器を有する。磁場発生器は、図 4 で示すサンプルステージ 432 に取付けられた磁石、たとえば永久磁石 470 C であってもよい。また、図 5 に示すように、サンプルステージ 532 の上方に置かれる電磁石 570 であってもよい。磁石がサンプルステージの上方に置かれる後者の場合では、磁石のコアが、レーザビームが通過するリングの形をしているものがよい。

【0113】

図 2 の照射システム 230、図 3 の照射システム 330 b、図 4 の照射システム 430 c の各々は、さらにコントローラを取付けることができる。コントローラは、たとえば、パルスレーザおよびサンプルステージを制御または管理する。コントローラは、さらにレーザ照射のタイミング、およびサンプルステージの位置を調整できる。たとえば、コントローラは、矢印 262 (図 2)、矢印 362 (図 3) と矢印 462 (図 4) で示す方向に、サンプルステージの動きを管理できる。コントローラの管理下にあるサンプルステージの動きにより、半導体素子の逐次的な照射領域を設定することができる。また、好ましくは、横方向連続結晶化法 (SLS) に従い、半導体素子の隣接する、または部分的に重なる逐次的な照射領域を設定することができる。さらに、コントローラは、少なくともレーザがサンプルを照射する間、磁界を与えるために、磁場発生器の動作を制御および管理できる。

【0114】

先に述べたように、横方向連続結晶化法 (SLS) では、結晶は照射後に水平方向に成長する。図 9 (a) ~ (d) は、図 6 (a) ~ (c) といくらか類似しているが、横方向連続結晶化法 (SLS) に従い、隣接または少なくとも部分的に重なる領域の、逐次的レーザ照射プロセスにより結晶化した微細構造を含むシリコン層の概観を例示する。

【0115】

図9(a)は、1回目の照射後に、照射領域R(1)に存在する結晶化した微細構造CM(1)を示す。シリコン層の加熱は、たとえば、パルスレーザからの熱により行なわれ、マスクスリットが領域R(1)を除く区域すべてを覆うように用いられる。パルスレーザのエネルギーは熱エネルギーに変わり、シリコン層の厚さ方向にわたり、完全に領域R(1)のシリコンを溶融する。次に、シリコン層が冷却すると、領域R(1)は凝固し、結晶が領域R(1)の中心方向へ、領域の境界から成長する(境界は、図9(a)の線B(1)で表わされる。)。領域の境界は、実質的に、照射領域の溶融シリコンと、照射領域の外側にある未溶融シリコンとの界面である。

【0116】

サンプルステージを置き換えるか、または動かす(または、これに代えてレーザを動かすか、またはずらす)と、パルスレーザのビームは、図9(b)に示すように、半導体素子の別の領域R(2)上に照射範囲を移す。図9(b)の領域R(2)は、図9(a)の領域R(1)と隣接し、または部分的に重なり、領域R(1)のうち、図9(a)の1回目の照射で結晶化しなかった部分を含むようにするのが好ましい。図9(c)は、領域R(2)にレーザを照射し、半導体素子の2回目のレーザ照射後における領域R(2)を示し、領域R(2)における粒径が大きい多結晶の水平方向の成長を示している。隣接するか、または少なくとも重なる、さらなる領域への逐次的レーザ照射により、最終的に、図9(d)に示す結晶微細構造CM(D)が得られる。

【0117】

今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0118】

【発明の効果】

本発明によれば、粒径が増大した多結晶シリコンを製造することができ、長さ

だけでなく、幅においても粒径を均一に増大させることができる。その結果、移動度がより大きい半導体素子を製造することができる。移動度がより大きいため、素子の挙動が改良され、たとえば半導体表示装置における画素のスイッチング特性を改良することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の半導体素子の製造方法を示す概念図である。

【図 2】 本発明の半導体素子を製造する際に使用するレーザ照射システムの模式図である。

【図 3】 本発明の半導体素子を製造する際に使用する、他の態様のレーザ照射システムの模式図である。

【図 4】 本発明の半導体素子を製造する際に使用する、他の態様のレーザ照射システムの模式図である。

【図 5】 本発明の半導体素子を製造する際に使用する、他の態様のレーザ照射システムの模式図である。

【図 6】 レーザ照射後の、照射領域における多結晶微細構造を示す平面図である。

【図 7】 レーザ照射後の、照射領域における多結晶微細構造を示す平面図である。

【図 8】 レーザ照射後の、照射領域における多結晶微細構造を示す平面図である。

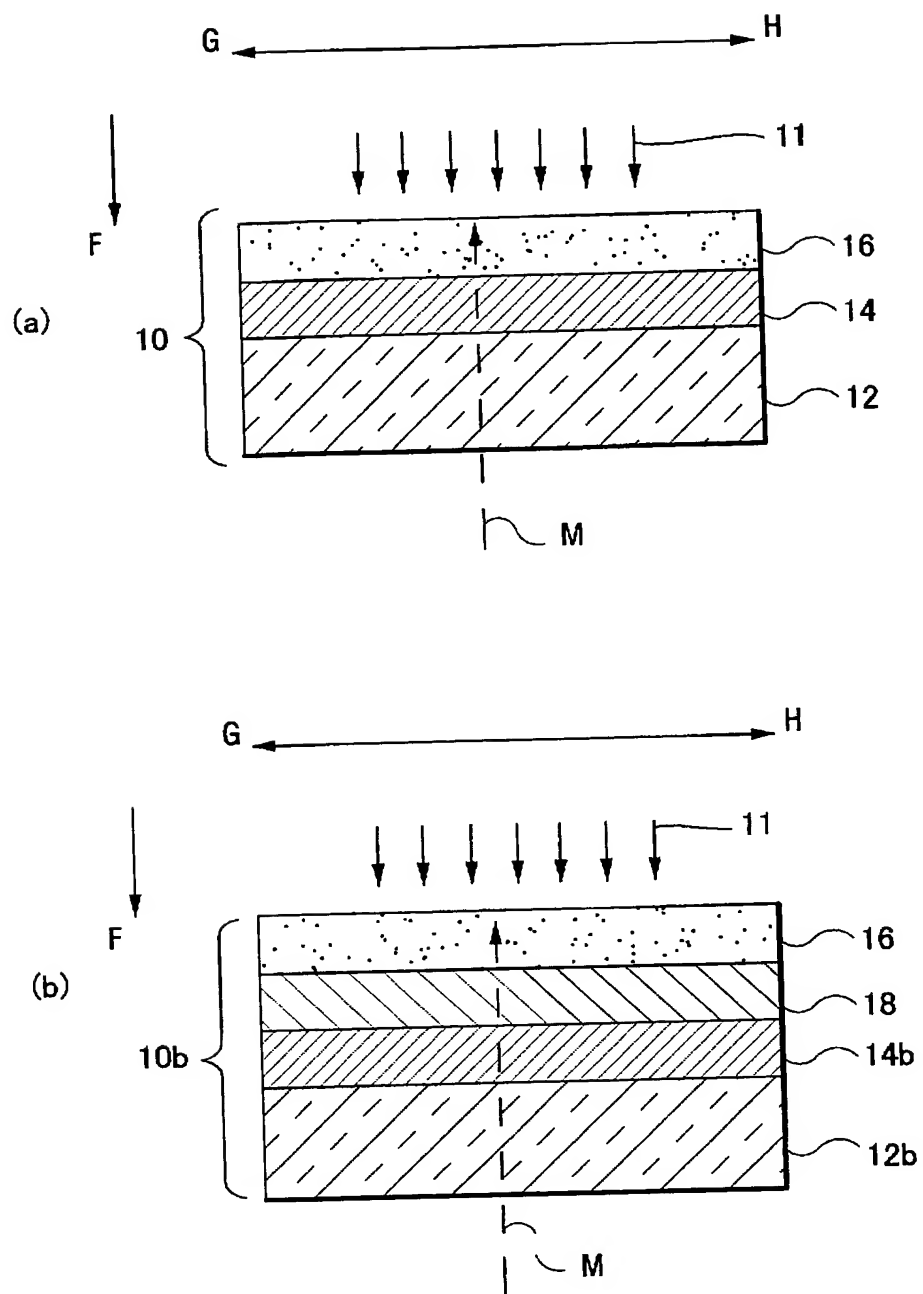
【図 9】 レーザ照射後の、照射領域における多結晶微細構造を示す平面図である。

【符号の説明】

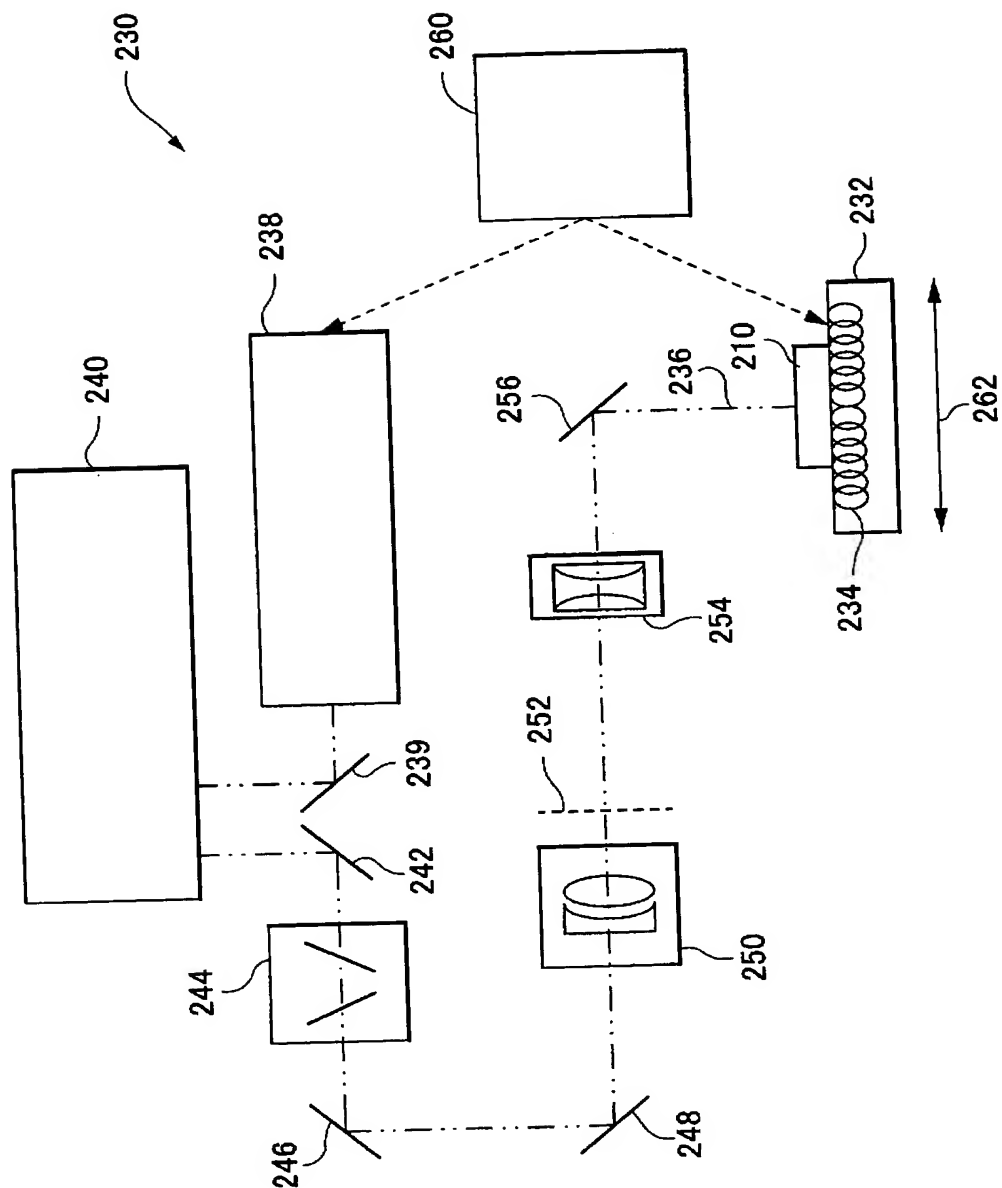
10, 10b 半導体素子、11 ビーム、12, 12b 透明基板、16 シリコン層、18 低熱伝導度材料層。

【書類名】 図面

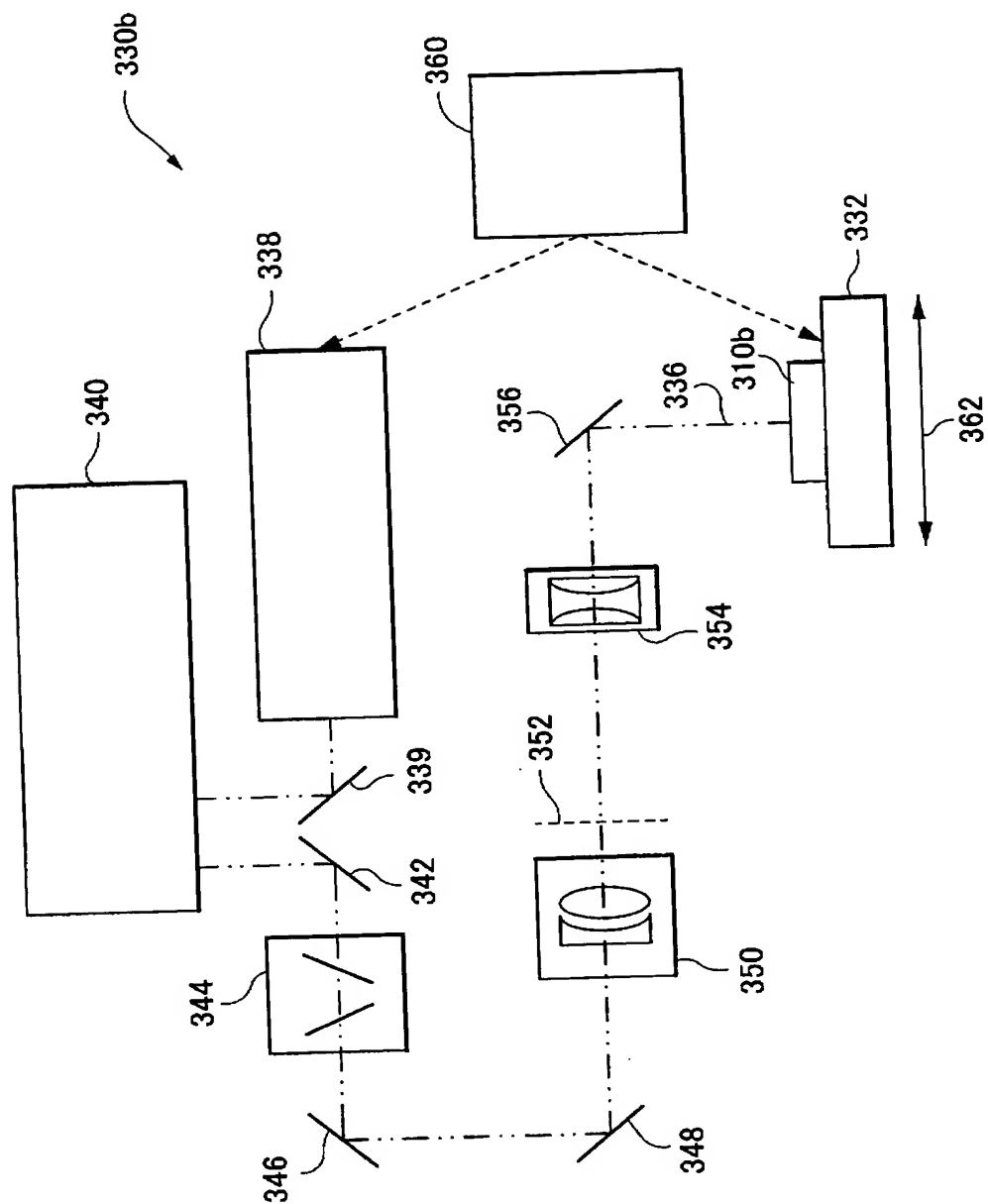
【図 1】



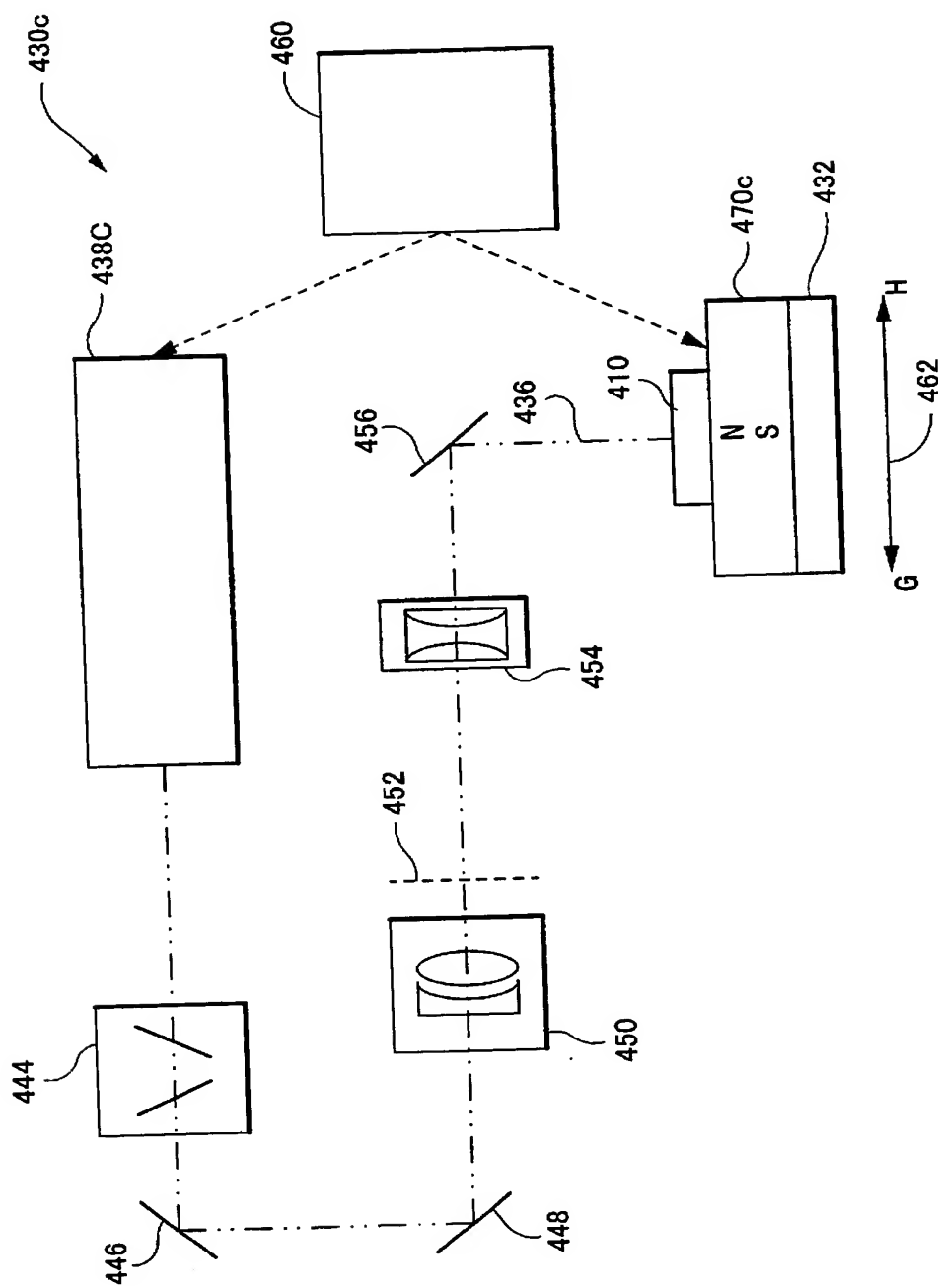
【図 2】



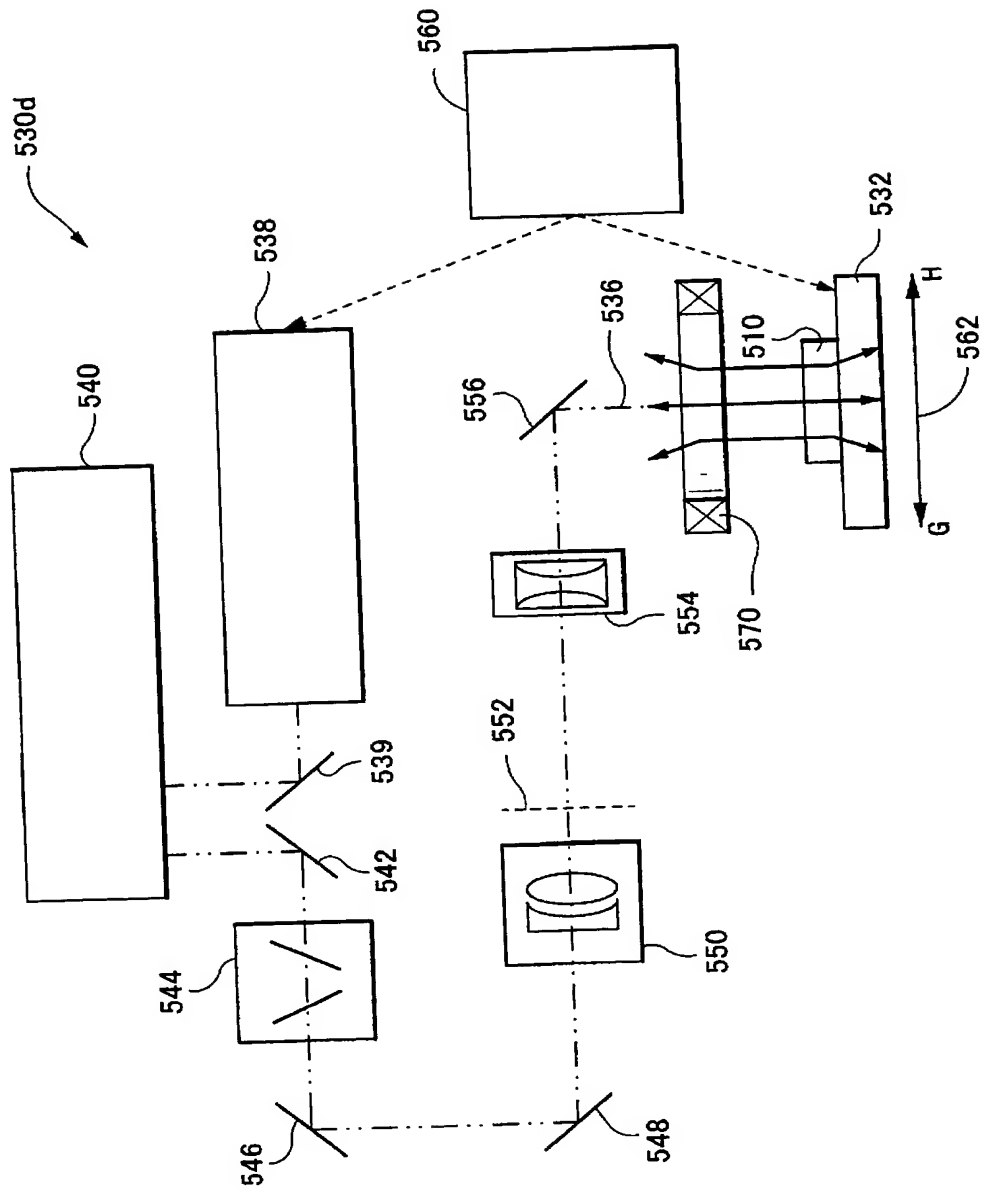
【図 3】



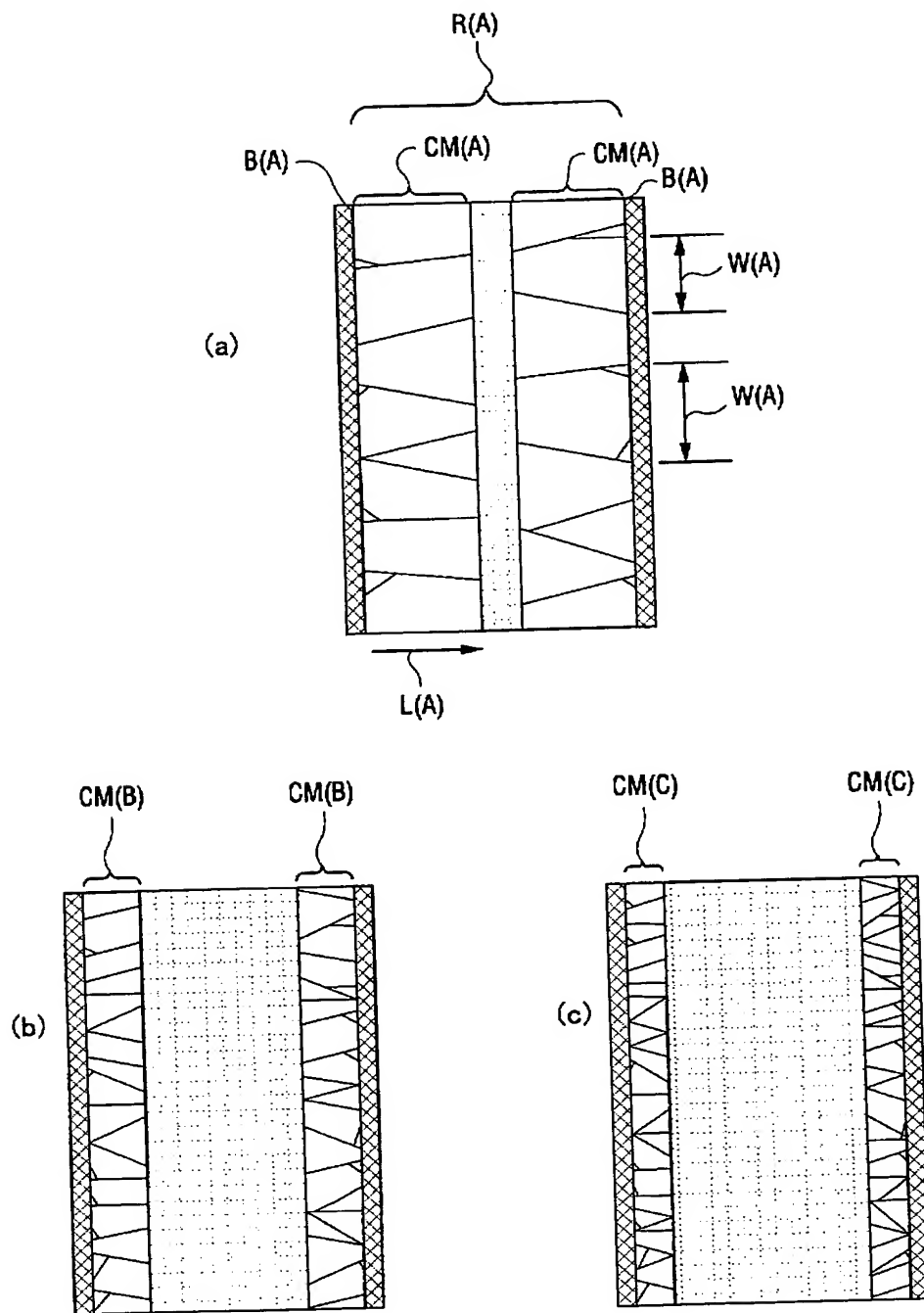
【図 4】



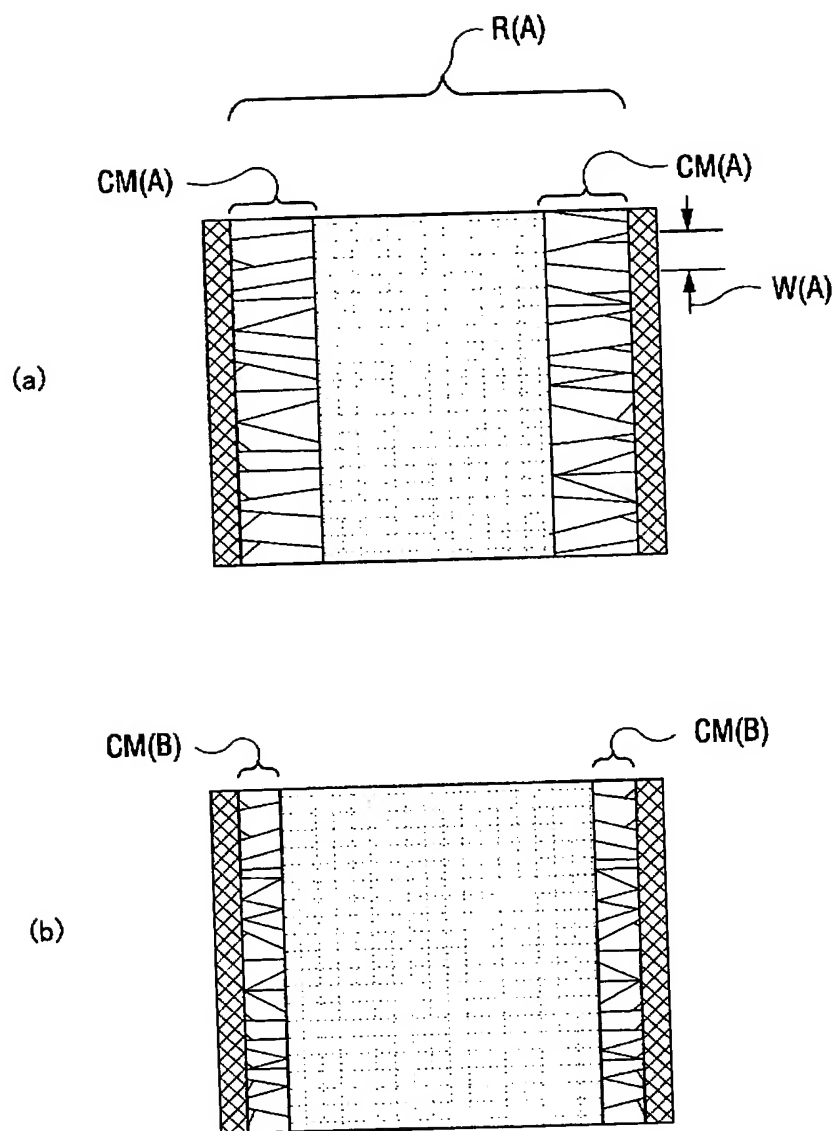
【図 5】



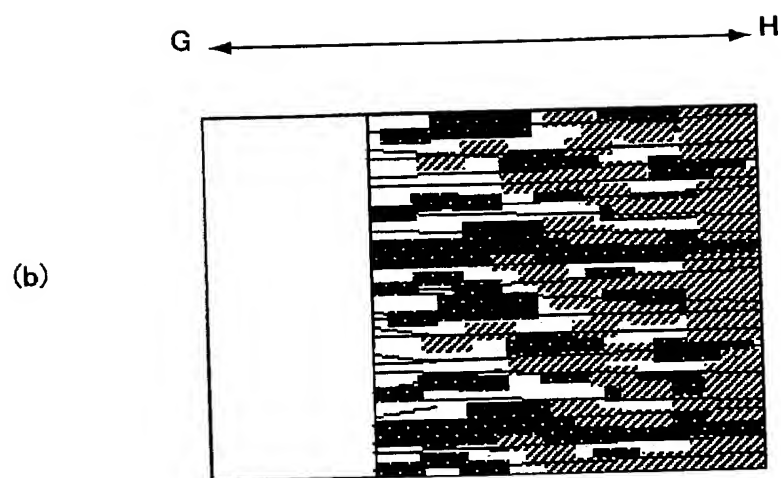
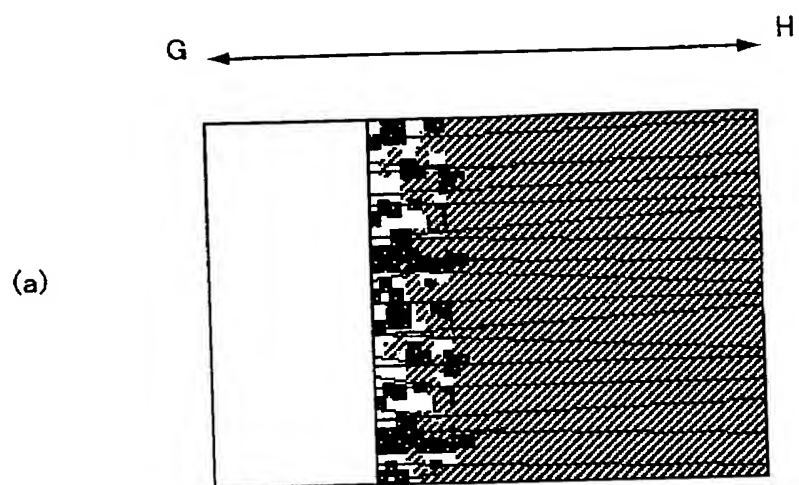
【図 6】



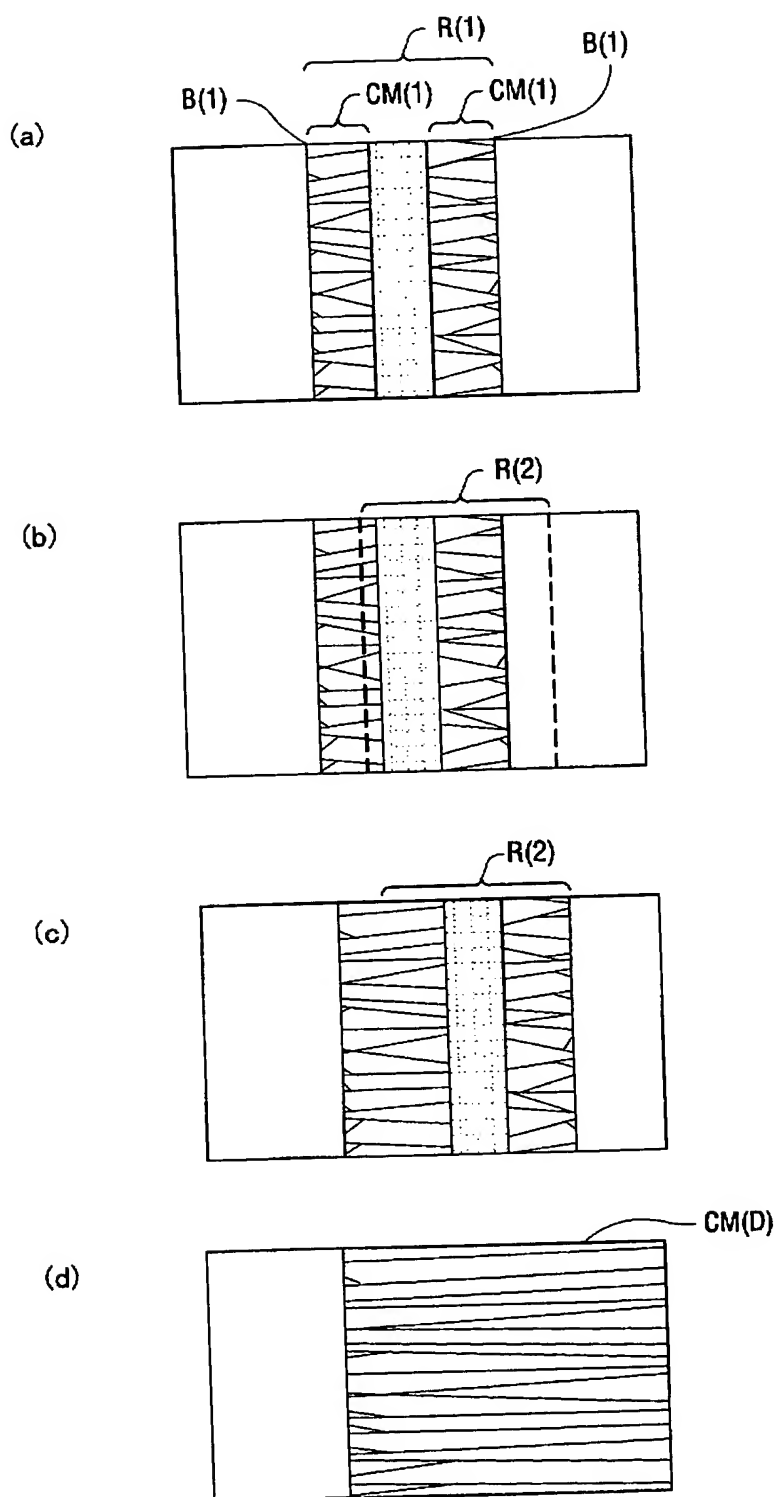
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 多結晶シリコンの粒径を増大させる製造技術を提供する。特に、長さだけでなく幅においても多結晶シリコンの粒径を均一に増大させる製造技術を提供する。

【解決手段】 本発明の半導体素子の製造方法は、基板上に半導体材料層を形成する工程と、半導体材料層の少なくとも 1 の領域にレーザを照射して、半導体材料を加熱し、熔融する工程と、レーザ照射後、半導体材料を均一に冷却する工程を含み、レーザを照射した領域の境界から横方向に凝固させることにより、半導体材料層内に多結晶微細構造を形成することを特徴とし、3 0 0℃以上で、半導体材料の結晶化温度以下の温度で、半導体材料を加熱する工程をさらに含む態様が好ましい。

【選択図】 図 1

特願 2003-140069

出願人履歴情報

識別番号

[000005049]

1. 変更年月日

1990年 8月29日

[変更理由]

新規登録

住所

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

氏名

シャープ株式会社